

Orsay  
n° d'ordre :

UNIVERSITE DE PARIS - SUD  
CENTRE D'ORSAY

# THESE

présentée  
pour obtenir

**Le GRADE de DOCTEUR EN SCIENCES**

par

**Mohammed Hafid**

Sujet

**Etude de la molécule BaCl par spectrométrie par  
transformation de Fourier et fluorescence induite par laser**

Soutenue le 7 décembre 1994 à Orsay devant la Commission d'examen

C. Amiot	
M. Aubert-Frécon	Rapporteur
C. Boulet	
C. Effantin	Rapporteur
G. Guelachvili	
J. Vergès	



*A mes parents*

*Fatiha, Adil*

*Nabil et Catherine*



Ce travail a été effectué au laboratoire Aimé Cotton, je remercie Madame Bréchignac, Directeur du laboratoire, pour son accueil.

Je suis très sensible à l'honneur que m'ont fait Mesdames Effantin et Aubert-Frécon en acceptant de juger ce travail, je les remercie très vivement.

J'adresse mes remerciements à Messieurs Guelachvili et Boulet pour l'intérêt qu'ils ont manifesté pour ce travail en acceptant de faire partie du jury.

La direction scientifique de ce travail a été assumée par M. Claude Amiot. Je le remercie vivement, il m'a dirigé dans cette étude avec compétence et beaucoup d'efficacité. Je dois beaucoup à ses idées et à ses conseils. Je lui en suis très reconnaissant.

Je remercie vivement M. Jean Vergès pour sa contribution déterminante dans ce travail. Je tiens à lui exprimer ma gratitude de m'avoir fait l'honneur de participer au jury.

J'adresse également mes remerciements à Mme Jacqueline Chevillard qui a participé à l'enregistrement des spectres.

Mes remerciements vont aussi à M. Bernard Desmarets qui a réalisé la plupart des graphiques de cette thèse.

Je suis également heureux d'exprimer ma sympathie à tous mes camarades du laboratoire pour leurs encouragements. Je leur dis merci de m'avoir supporté tout au long de ces années de thèse.

Je ne saurais oublier Hakim, Fatima, Hamid, Taoufik et Mehdi qui m'ont aidé et soutenu durant ces années. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma reconnaissance et de mon amitié.



# SOMMAIRE

## INTRODUCTION GENERALE

### Chapitre I

## TECHNIQUES EXPERIMENTALES

I.	Spectrométrie par transformation de Fourier	15
	I.1. Principe	15
	I.2. Fonction d'appareil	18
	I.3. Echantillonnage	21
	I.4. Avantages de la méthode	24
II.	Caractéristiques de l'interféromètre	25
III.	Fluorescence induite par laser	30
IV.	Description du montage expérimental	32
	IV.1. La molécule BaCl et sa production	32
	IV.2. Montage expérimental	33

### Chapitre II

## ELEMENTS THEORIQUES

I.	Moments cinétiques d'une molécule diatomique	39
II.	Symétries et règles de sélection	40
	II.1. Référentiels	40
	II.2. Opérateurs de symétrie	41
	II.3. Types de symétrie	41

II.4. Règles de sélection	43
III. Hamiltonien moléculaire	44
III.1. Expression de $H_0$	45
III.2. Expression de $H_{\text{rot}}$	47
III.3. Expression de $H_{\text{sf}}$	47
IV. Matrice de l'hamiltonien	48
IV.1. Les cas de Hund	48
IV.2. Les éléments de matrice de l'hamiltonien	51
IV.3. Le dédoublement $\Lambda$	55
IV.4. La transformation de Wang	55
IV.5. La distorsion centrifuge	56
V. Représentation polynomiale des termes d'énergie	59
VI. Effet isotopique	60
VII. Courbes de potentiel	61

### Chapitre III

## Etude spectroscopique de la molécule BaCl

I. Introduction	67
II. Enregistrement des spectres	69
III. Traitement des spectres	73
III.1. Protocole d'enregistrement des spectres et attributions des séries	73
III.1.1. Protocole	73
III.1.2. Attributions des nombres quantiques	74
III.2. Traitement numérique	78
III.2.1. Méthode d'approche directe	79
III.2.1. Traitement global	82



IV.	Caractérisation de l'état fondamental X $^2\Sigma$	83
IV.1.	Système C $^2\Pi$ - X $^2\Sigma$	83
IV.1.1.	Description des spectres	83
IV.1.2.	Identification des raies	84
IV.2.	Système B $^2\Sigma$ - X $^2\Sigma$	89
IV.2.1.	Description des spectres	89
IV.2.2.	Identification des raies	95
IV.2.3.	Affinement de fluorescence par laser	98
IV.3.	Résultats et analyses	100
IV.4.	Conclusion	101
V.	Caractérisation de l'état C $^2\Pi$	102
V.1.	Système E $^2\Sigma$ - C $^2\Pi$	102
V.1.1.	Description des spectres	102
V.1.2.	Identification des raies	105
V.1.3.	Dédoublément $\Lambda$ dans l'état C $^2\Pi$	105
V.2.	Système F $^2\Sigma$ - C $^2\Pi$	108
V.2.1.	Description des spectres	108
V.2.2.	Identification des raies	108
V.3.	Résultats et analyses	109
VI.	Caractérisation des états A' $^2\Delta$ , A $^2\Pi$ et B $^2\Sigma$	111
VI.1.	Caractérisation de l'état A' $^2\Delta$ : système C $^2\Pi$ - A' $^2\Delta$	111
VI.1.1.	Description des spectres	111
VI.1.2.	Identification des raies	113
VI.1.3.	Résultats et analyse	117
VI.2.	Caractérisation de l'état A $^2\Pi$ : systèmes C $^2\Pi$ - A $^2\Pi$ et F $^2\Sigma$ - A $^2\Pi$	118
VI.2.1.	Description des spectres	118
VI.2.2.	Identification des raies	121
VI.3.3.	Résultats et analyse	123

VI.3. Caractérisation de l'état $B \ ^2\Sigma$ : systèmes $C \ ^2\Pi - B \ ^2\Sigma$ et $F \ ^2\Sigma - B \ ^2\Sigma$	124
VI.3.1. Description des spectres	125
VI.3.2. Identification des raies	129
VI.3.3. Résultats et analyse	129
VII. Traitement global de tous les nombres d'ondes - Résultats	132
VIII. Conclusion	143

## Chapitre IV

### Etude du complexe 'd'

I. Introduction	149
II. Modèle théorique	152
III. Traitement numérique	154
IV. Analyse des résultats	158
VI.1. Comparaison des paramètres T, A obtenus par le traitement simultané et par le traitement en complexe	158
VI.2. Comparaison des paramètres T, A du complexe et ceux prévus par la théorie	160
VI.3. Comparaison avec la série des halogénures d'alcalino-terreux	161
V. Conclusion	162

## CONCLUSION





## Introduction générale

Le travail présenté dans ce manuscrit concerne l'étude spectroscopique de la molécule BaCl. Il s'inscrit dans le cadre de l'étude systématique des états peu excités des halogénures d'alcalino-terreux, entamé depuis quelques années [1,2,3].

Les premiers travaux sur ces molécules souffraient généralement d'un manque de données expérimentales et de résolution spectrale. Avec les développements des lasers et des techniques d'analyse, ces molécules ont retenu l'intérêt des expérimentateurs et en conséquence, de nombreuses expériences ont été menées sur ces molécules ayant pour but principal la caractérisation de l'état fondamental et celui de l'état métastable  $^2\Delta$ . Ce dernier est le plus bas en énergie, conséquence de la présence de l'électron d dans les configurations des états excités des atomes d'alcalino-terreux. Ainsi cet état  $^2\Delta$  n'a été mis en évidence que dans les molécules CaF, BaH et BaF [4,5,6].

Sur le plan théorique, les halogénures d'alcalino-terreux sont considérés comme des systèmes ioniques : le cation  $M^{++}$ , l'anion  $X^-$  et un électron de valence restant liés au centre métallique. Cette description 'simple' a permis de développer deux modèles théoriques : le modèle du champ liant [7] et le modèle de polarisation électrostatique [8]. Ces calculs théoriques sont apparus avant les résultats expérimentaux et ont connu un grand développement [9]. Cependant leurs prévisions contradictoires et le manque d'informations expérimentales de qualité pour les molécules de cette famille, en particulier BaCl jusqu'à une date récente, ont empêché d'évaluer la qualité de ces calculs.

L'objectif principal de notre travail repose donc sur :

\* l'obtention de bonnes données expérimentales, en qualité et en quantité, concernant les états électroniques de plus basse énergie de la molécule. Pour cela, nous avons utilisé

l'excitation sélective par laser et l'analyse de l'émission de fluorescence par spectrométrie par transformation de Fourier.

\* la détermination optimale et unique de tous les paramètres moléculaires des états impliqués dans les transitions observées. Un traitement global de toutes les données numériques s'est avéré le plus efficace pour atteindre cet objectif.

\* la détermination des paramètres déperturbés des trois premiers états excités  $A' \ ^2\Delta$  ,  $A \ ^2\Pi$  ,  $B \ ^2\Sigma$  en tenant compte des interactions entre ces états.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres :

- Le premier chapitre traite les méthodes expérimentales utilisées pour l'obtention des spectres. Nous rappellerons les principes de base de la spectroscopie par transformation de Fourier et décrirons l'appareil utilisé. La dernière partie sera consacrée à la source de production de la molécule de BaCl.
- Dans le deuxième chapitre sont résumés les résultats essentiels de la théorie quantique appliquée aux molécules diatomiques, résultats nécessaires à la compréhension de l'étude réalisée. Après un rappel concernant les moments angulaires et les symétries, nous établirons l'expression de l'hamiltonien et celles de ses éléments de matrice dans une base convenable. Le dernier paragraphe sera consacré à la méthode R.K.R utilisée pour le calcul des courbes de potentiel des états électroniques.
- Le troisième chapitre est consacré en première partie aux concepts mis en oeuvre pour exploiter les spectres : la méthode d'attribution des nombres quantiques des raies et celle du traitement numérique. Dans le dernier paragraphe de ce chapitre, nous présenterons l'étude détaillée des transitions observées et un bilan de résultats obtenu après le traitement global.
- Dans le dernier chapitre nous abordons l'étude du Complexe 'd' formé par les trois premiers états excités  $A' \ ^2\Delta$  ,  $A \ ^2\Pi$  et  $B \ ^2\Sigma$ . Après un rappel des travaux théoriques, nous donnons la démarche suivie dans cette étude, et nous comparons nos résultats avec ceux fournis par les calculs théoriques.

## Références du chapitre 0

- [1] C. Effantin, A. Bernard, J. D'Incan, G. Wannous, J. Vergès and R.F. Barrow, *Mol. Phys.* 70 (1990) 735.
- [2] A. Bernard, C. Effantin, J. D'Incan, J. Vergès and R.F. Barrow, *Mol. Phys.* 70 (1990) 747.
- [3] A. Bernard, C. Effantin, E. Adrianavalona, J. Vergès and R.F. Barrow, *J. Mol. Spectrosc.* 152 (1991) 174.
- [4] J. D'Incan, C. Effantin, A. Bernard, J. Vergès and R.F. Barrow, *J. Phys. B* 24 (1991) 71.
- [5] R.F. Barrow, A. Bernard, C. Effantin, J. D'Incan, G. Fabre, A. El Hachimi, R. Stringat and J. Vergès, *Chem. Phys. Letters* 147 (1988) 535.
- [6] A. Bernard, C. Effantin, J. D'Incan, G. Fabre, A. El Hachimi, R. Stringat, J. Vergès and R.F. Barrow, *Mol. Phys.* 62 (1987) 797.
- [7] S.F. Rice, H. Martin and R.W. Field, *J. Chem. Phys.* 82 (1985) 5023.
- [8] T. Törring, W.E. Ernst and J. Kändler, *J. Chem. Phys.* 90 (1989) 4927.
- [9] A.R. Allouche, G. Wannous and M. Aubert-Frécon, *Chem. Phys.* 170(1993) 11.









## **Chapitre I**

### **TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES**

#### **I- Spectrométrie par transformation de Fourier**

I.1- Principe

I.2- Fonction d'appareil

I.3- Échantillonnage

I.4- Avantages de la méthode

#### **II- Caractéristiques de l'interféromètre**

#### **III- Fluorescence induite par laser**

#### **IV- Description du montage expérimental**

IV.1- La molécule BaCl et sa production

IV.2- Montage expérimental



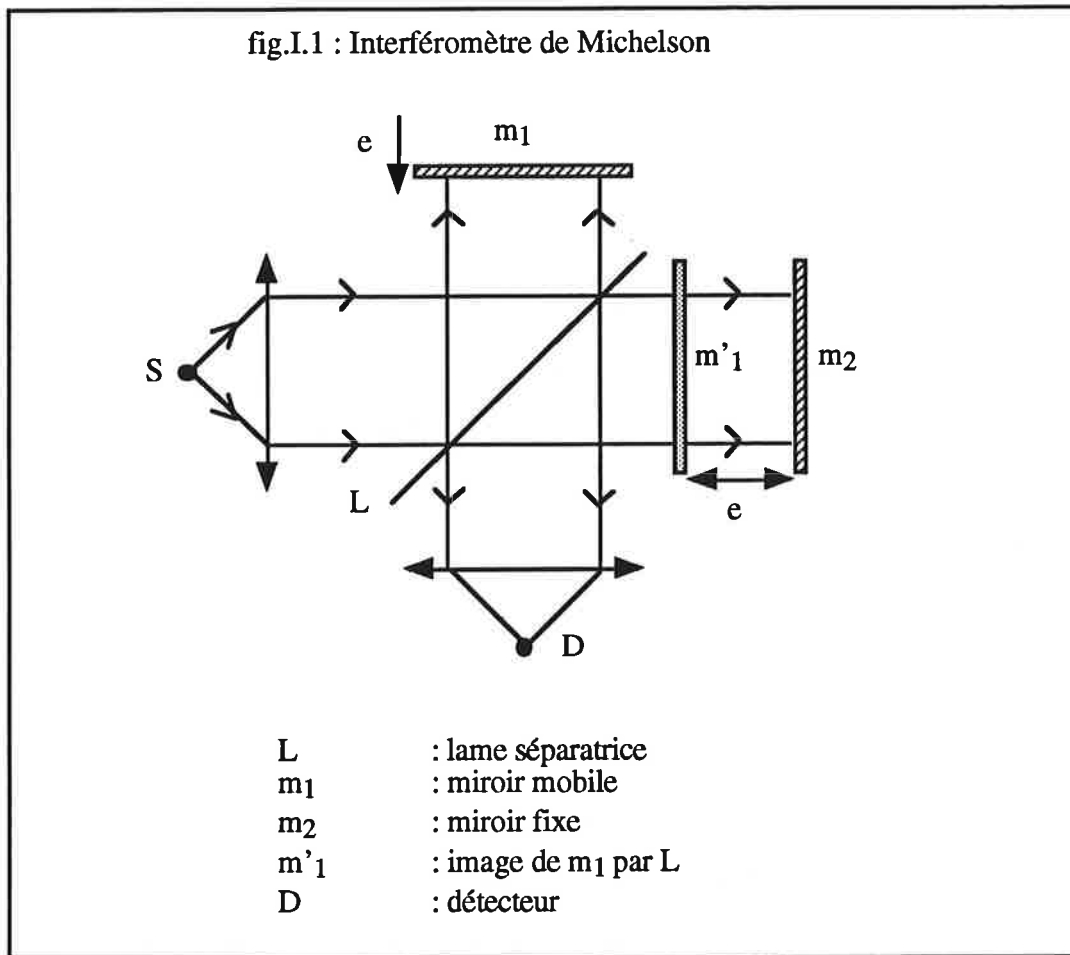
Le principe de la spectroscopie par transformation de Fourier est connu depuis la mise au point de l'interféromètre à deux ondes par Michelson en 1880. Ce n'est que beaucoup plus tard, vers 1950, que l'intérêt de cette technique a été mis en évidence par P. Jacquinot et P. Fellgett. Cette méthode a progressé grâce à des améliorations techniques : extension dans le domaine visible, augmentation de la résolution intrinsèque dans le proche infrarouge,... et grâce au développement des méthodes de calcul par ordinateur. Elle est particulièrement bien adaptée à la spectroscopie moléculaire dans le domaine infrarouge et visible.

Dans notre étude, les spectres d'émission de BaCl ont été obtenus par la méthode de la fluorescence induite par laser associée à la spectrométrie de Fourier. Nous allons donc rappeler dans ce chapitre le principe de base de la spectrométrie de Fourier; nous citerons les avantages de l'interféromètre utilisé puis nous présenterons les caractéristiques de la source de BaCl. Enfin nous exposerons le principe de la fluorescence induite par laser analysée par spectrométrie de Fourier.

## **I- Spectrométrie par transformation de Fourier**

### **I.1- Principe**

La figure I.1 représente un interféromètre de Michelson éclairé par une source S. Cette source est supposée infiniment fine de telle sorte que le faisceau lumineux entrant dans l'interféromètre soit parfaitement parallèle. La source ponctuelle a une étendue spectrale  $\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1$  et une luminance  $B(\sigma)$  telle que  $B(\sigma) = 0$  pour  $\sigma \notin [\sigma_1, \sigma_2]$ .



Le flux lumineux  $\phi$  reçu par le détecteur est alors :

$$\phi(\delta) = \int_{\sigma_1}^{\sigma_2} B(\sigma) \cdot [\cos(\pi \sigma \delta)]^2 d\sigma \quad (I-1)$$

où  $\delta = 2 e$  est la différence de marche entre les deux ondes arrivant sur le détecteur si le déplacement du miroir mobile par rapport à l'origine ( $\delta = 0$ ) est égal à  $e$ . Ceci suppose implicitement que l'origine de l'interférogramme correspond à la différence de marche zéro (égalité des chemins optiques entre les deux bras de l'interféromètre).

La partie  $I(\delta)$  du flux lumineux  $\phi$  dépendant de  $\delta$  peut s'écrire, à une constante près, sous la forme :

$$I(\delta) = \int_{\sigma_1}^{\sigma_2} B(\sigma) \cdot \cos(2 \pi \sigma \delta) d\sigma \quad (I-2)$$

En fonction de la partie paire  $B_p(\sigma) = 1/2 [B(\sigma) + B(-\sigma)]$  de la luminance  $I(\delta)$  a pour expression :

$$I(\delta) = \int_{-\infty}^{+\infty} B_p(\sigma) \cos(2\pi\sigma\delta) d\sigma = \int_{-\infty}^{+\infty} B_p(\sigma) e^{2i\pi\sigma\delta} d\sigma \quad (I-3)$$

La quantité  $I(\delta)$  est donc la transformée de Fourier de la fonction  $B_p(\sigma)$  et constitue l'interférogramme enregistré (variation du flux lumineux collecté par le détecteur) en fonction de la différence de marche  $\delta$ .

La luminance  $B(\sigma)$  est donnée par la transformée de Fourier inverse de  $I(\delta)$  :

$$B(\sigma) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(\delta) e^{-2i\pi\sigma\delta} d\delta \quad (I-4)$$

$I(\delta)$  étant également une fonction paire en  $\delta$ ,  $B_p(\sigma)$  est la transformée de Fourier en cosinus de  $I(\delta)$  :

$$B_p(\sigma) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(\delta) \cos(2\pi\delta\sigma) d\delta \quad (I-5)$$

Pour s'affranchir des fluctuations du fond continu de la source, la différence de marche  $\delta$  est modulée par une fonction en créneaux, prenant des valeurs  $(\delta-\Delta/2)$  et  $(\delta+\Delta/2)$ .  $I(\delta)$  est obtenu par démodulation en faisant la différence  $[\phi(\delta+\Delta/2) - \phi(\delta-\Delta/2)]$ . On obtient une quantité proportionnelle à

$$I_1(\delta) = \int_{-\infty}^{+\infty} B_p(\sigma) \sin(\pi\sigma\Delta) \sin(2\pi\delta\sigma) d\sigma \quad (I-6)$$

En posant  $B_i(\sigma) = B_p(\sigma) \sin(\pi\sigma\Delta)$ , on obtient :

$$B_i(\sigma) = \int_{-\infty}^{+\infty} I_1(\delta) \sin(2\pi\delta\sigma) d\delta \quad (I-7)$$

où  $B_i(\sigma)$  est la transformée en sinus de  $I_1(\delta)$ .

La connaissance de l'interférogramme  $I(\delta)$  ou  $I_1(\delta)$ , donne par un calcul de transformée de Fourier accès au spectre entier de la source dans l'intervalle spectral  $[\sigma_1, \sigma_2]$ .

Dans la suite, nous n'étudierons que la fonction paire  $B_p(\sigma)$ , des considérations similaires s'appliquant à la fonction impaire  $B_i(\sigma)$ .

### I.2- Fonction d'appareil

Si on pouvait connaître l'interférogramme lorsque la différence de marche  $\delta$  varie de zéro à l'infini ( entre  $-\infty$  et  $+\infty$  puisqu'il est symétrique), le spectre serait reconstitué exactement par l'opération :

$$B_p(\sigma) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(\delta) \cos(2\pi\delta\sigma) d\delta \quad (\text{I-10})$$

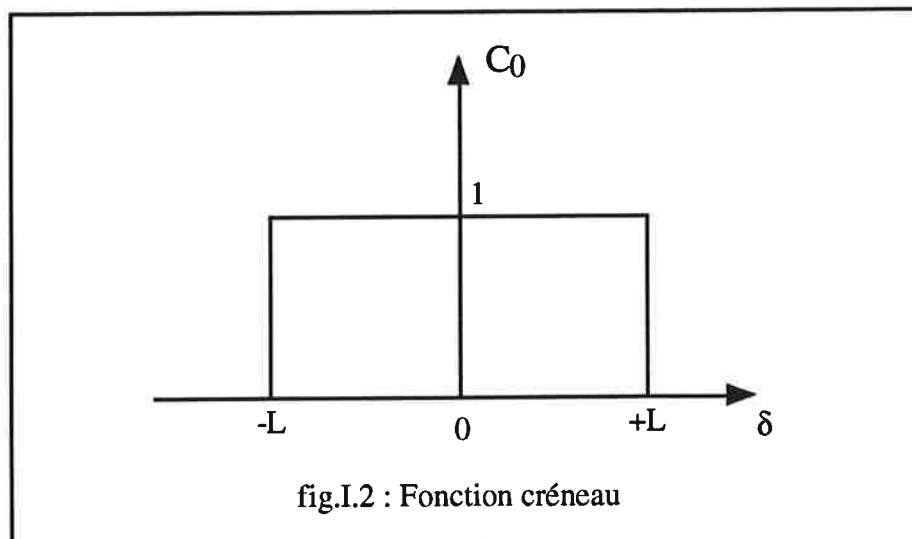
On ne peut pas retrouver  $B(\sigma)$  de façon parfaite du fait qu'il existe une limitation de caractère technique : la différence de marche varie seulement entre zéro et une valeur maximale  $L$  telle que  $L = 2e$ . La valeur  $B'_p(\sigma)$  calculée ne sera qu'une valeur approchée de  $B_p(\sigma)$ ; on dit que la résolution est finie

$$B'_p(\sigma) = \int_{-\infty}^{+\infty} I(\delta) C_0(\delta) \cos(2\pi\delta\sigma) d\delta \quad (\text{I-11})$$

où  $C_0(\delta)$  est une fonction créneau (fig.I.2) :

$$C_0(\delta) = 1 \text{ si } |\delta| \leq L$$

$$C_0(\delta) = 0 \text{ si } |\delta| > L$$



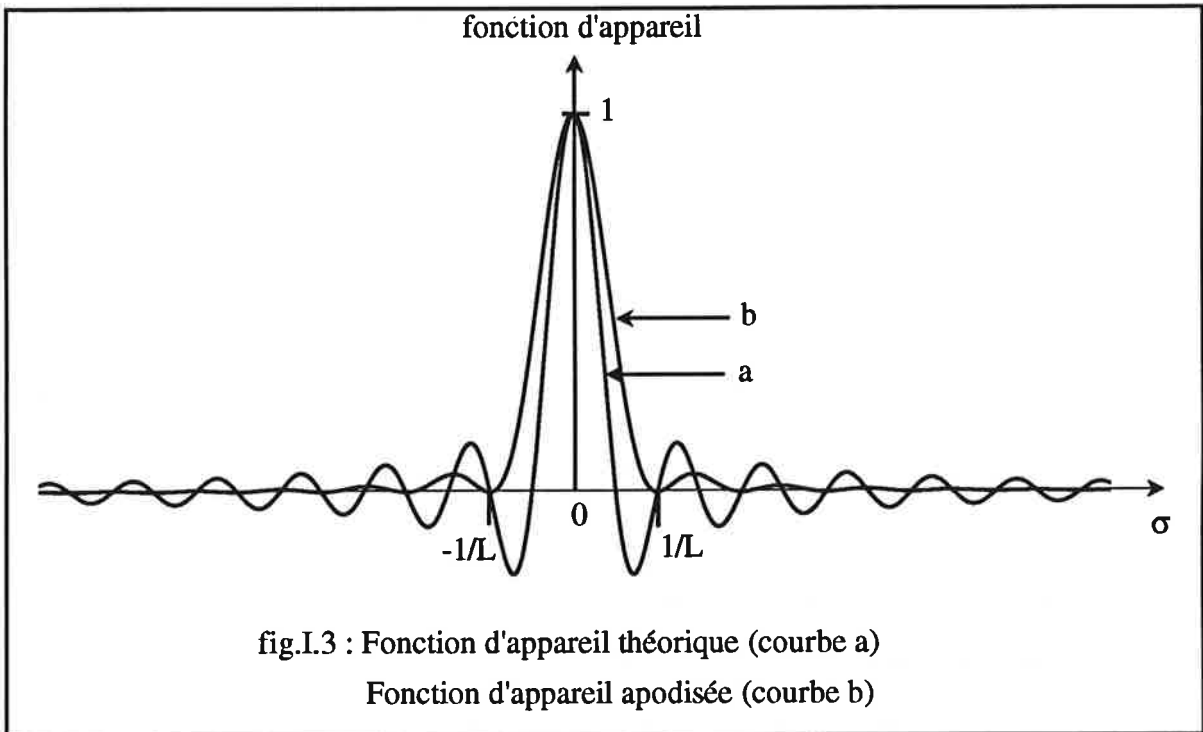


$B'_p(\sigma)$  est la transformée de Fourier de  $I(\delta) C_0(\delta)$ . Or la transformée de Fourier d'un produit de deux fonctions est égale au produit de convolution des transformées de Fourier des deux fonctions :

$$B'_p(\sigma) = B_p(\sigma) * F_0(\sigma) \quad (I-12)$$

où  $F_0(\sigma)$  est la transformée de Fourier de  $C_0(\delta)$

$F_0(\sigma)$  est appelée fonction d'appareil théorique de l'interféromètre (fig.I.3 courbe a). La limite de résolution  $\delta\sigma$  est alors la largeur à mi-hauteur de la fonction d'appareil, voisine de  $\delta\sigma \approx 1/2L$ . Le pouvoir de résolution théorique, défini comme  $R_0 = \sigma/\delta\sigma$  est égal à  $2\sigma L$  et varie proportionnellement à  $L$ .



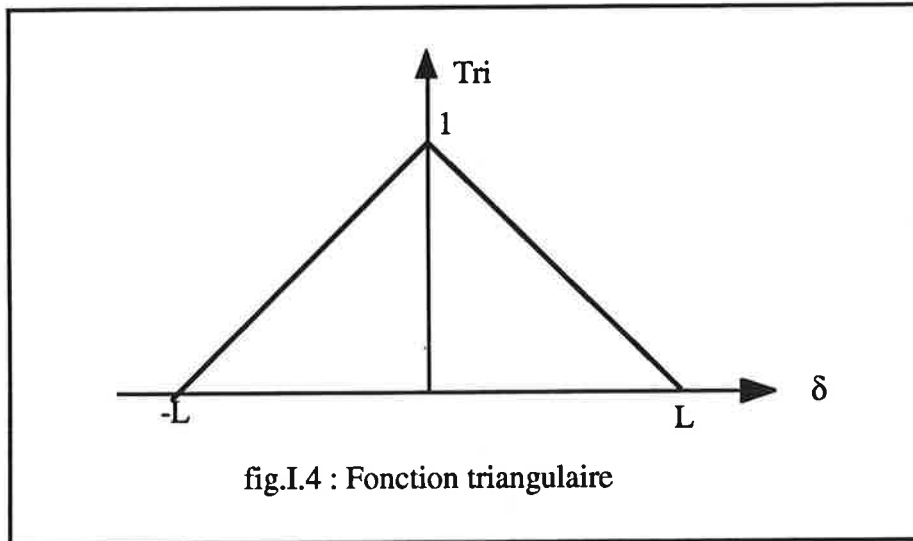
La fonction d'appareil  $F_0(\sigma)$  possède des maximums secondaires importants qui peuvent masquer des raies de plus faible intensité. La suppression de ces maximums est réalisée au moment du traitement numérique de l'interférogramme par un calcul mathématique appelé apodisation.

L'opération d'apodisation consiste à multiplier l'interférogramme par une fonction

décroissante de la différence de marche dont la transformée de Fourier possède des maximums secondaires plus faibles. On utilise par exemple une fonction triangulaire (fig.I.4) telle que :

$$\text{Tri} [\delta] = 1 - |\delta / L| \quad \text{si } |\delta| \leq L$$

$$\text{Tri} [\delta] = 0 \quad \text{si } |\delta| > L$$



Sa transformée de Fourier est :

$$F_0(\sigma) = [(\sin \pi \sigma L) / \pi \sigma L]^2 = [\text{sinc}(\pi \sigma L)]^2 \quad (\text{I-13})$$

On peut voir sur la courbe de la figure I.3 (courbe b) que les maximums secondaires sont beaucoup plus faibles que ceux de la fonction d'appareil théorique, mais sa largeur à mi-hauteur est deux fois plus importante et, en conséquence, le pouvoir de résolution est deux fois plus faible ( $\delta\sigma \approx 1 / L$ ,  $R_0 = \sigma L$ ).

L'ouverture angulaire finie  $\Omega$  du faisceau à l'entrée de l'interféromètre joue également un rôle important dans la définition de la fonction d'appareil  $F_0(\sigma)$ . En effet le flux  $\phi(\delta)$  transmis dans le cas d'une distribution spectrale étroite centrée en  $\sigma_0$  est [1] :

$$\phi(\delta) = \text{TF}[B(\sigma_0)] \text{sinc}(\pi \sigma_0 \delta \Omega / 2\pi) \cos[2 \pi \sigma_0 \delta (1 - \Omega / 4\pi)] \quad (\text{I-14})$$

où  $\text{TF}[B(\sigma_0)]$  est la transformée de Fourier de  $B(\sigma_0)$ .

$\phi(\delta)$  est une fonction sinusoïdale modulée par une fonction sinc. La modulation

s'annule chaque fois que la différence de marche est telle que  $\delta = k 2 \pi / \sigma_0 \Omega$ , c'est-à-dire quand le rayon du diaphragme est égal au rayon du  $k^{\text{ème}}$  anneau d'interférence dans son plan.

De l'équation (I-14), on déduit que le spectre est convolué par une fonction d'appareil qui, à une constante numérique près, est une fonction créneau :

$$F_D(\sigma) = 1 \quad \sigma \in [-\Omega\sigma / 4\pi, \Omega\sigma / 4\pi]$$

$$F_D(\sigma) = 0 \quad \text{ailleurs}$$

La fonction d'appareil réelle  $F(\sigma)$  est la convolution de  $F_0(\sigma)$  et  $F_D(\sigma)$ .

$$F(\sigma) = F_0(\sigma) * F_D(\sigma) \quad (\text{I-15})$$

Le spectre réellement obtenu peut s'écrire comme :

$$B''_p(\sigma) = B_p(\sigma) * F_0(\sigma) * F_D(\sigma) \quad (\text{I-16})$$

ou

$$B''_p(\sigma) = B_p(\sigma) * A(\sigma) \quad (\text{I-17})$$

La fonction d'appareil  $F(\sigma)$  a la même allure que  $F_0(\sigma)$  mais ses pieds et sa largeur à mi-hauteur sont plus ou moins grands suivant la valeur de  $F_D(\sigma)$ . En effet lorsque  $\Omega$  augmente, la largeur du créneau  $F_D$  augmente; ce qui a pour effet d'élargir la fonction d'appareil  $F(\sigma)$ . Cette augmentation de l'angle solide  $\Omega$  provoque donc une perte de résolution. Mais, en contre partie, elle améliore la luminosité ce qui permet d'obtenir un meilleur rapport signal sur bruit. Ces deux paramètres pris en compte, on montre que les conditions optimales sont réalisées pour  $\Omega R_0 = 2\pi$  [2].

### I.3- Echantillonnage

D'après le théorème d'échantillonnage (théorème de Shannon), toutes les informations relatives à une fonction limitée sont contenues dans une infinité dénombrable de valeurs discrètes de cette fonction. Par conséquent, pour obtenir le spectre en fréquences de la source étudiée, il suffit de traiter un certain nombre de valeurs équidistantes relevées sur l'interférogramme.

Donc l'intégrale :

$$B'_p(\sigma) = \int_{-\infty}^{+\infty} I_p(\delta) A(\delta) \cos(2\pi\sigma\delta) d\delta \quad (I-18)$$

(avec  $I_p(\delta)$  ensemble des valeurs discrètes de  $I(\delta)$  et  $F(\delta)$  transformée de Fourier de la fonction d'appareil théorique  $F_0(\sigma)$ ) peut être remplacée par la somme :

$$B_p(\sigma) = h [ I_p + 2 I_{ph} \cos(2\pi\sigma h) + \dots + 2 I_{pnh} \cos(2\pi\sigma nh) ] \quad (I-19)$$

dans laquelle  $I_p, I_{ph}, \dots, I_{pnh}$  sont les valeurs de  $I(\delta)$  pour  $\delta = 0, h, \dots, nh$ . ( $h = L/n$  et  $n$  le nombre de points à relever).

Cette somme est équivalente à:

$$B_p(\sigma) = h \int_{-\infty}^{+\infty} I_p(\delta) A(\delta) R_h(\delta) \cos(2\pi\sigma\delta) d\delta \quad (I-20)$$

dans laquelle la fonction  $R_h(\delta)$  est une distribution de Dirac en  $\delta$  à support périodique de période  $h$  :

$$R_h(\delta) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(\delta - nh) \quad (I-21)$$

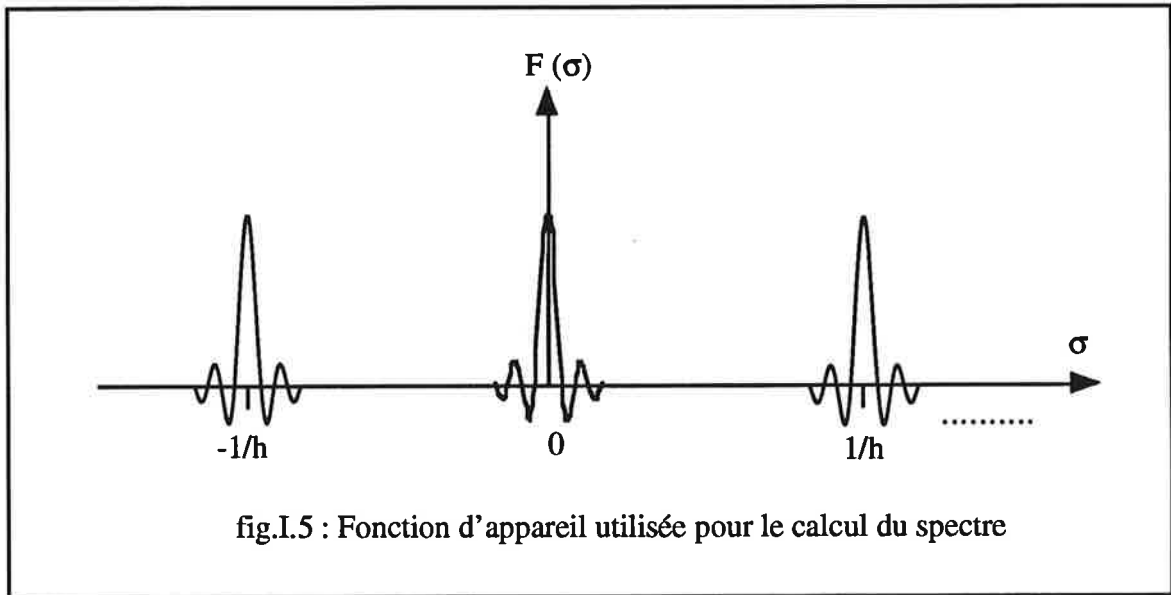
La transformée de Fourier de  $R_h(\delta)$ ,  $R'_h(\delta)$ , est une distribution de Dirac de pas  $1/h$  :

$$R'_h(\delta) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(\delta - n/h) \quad (I-22)$$

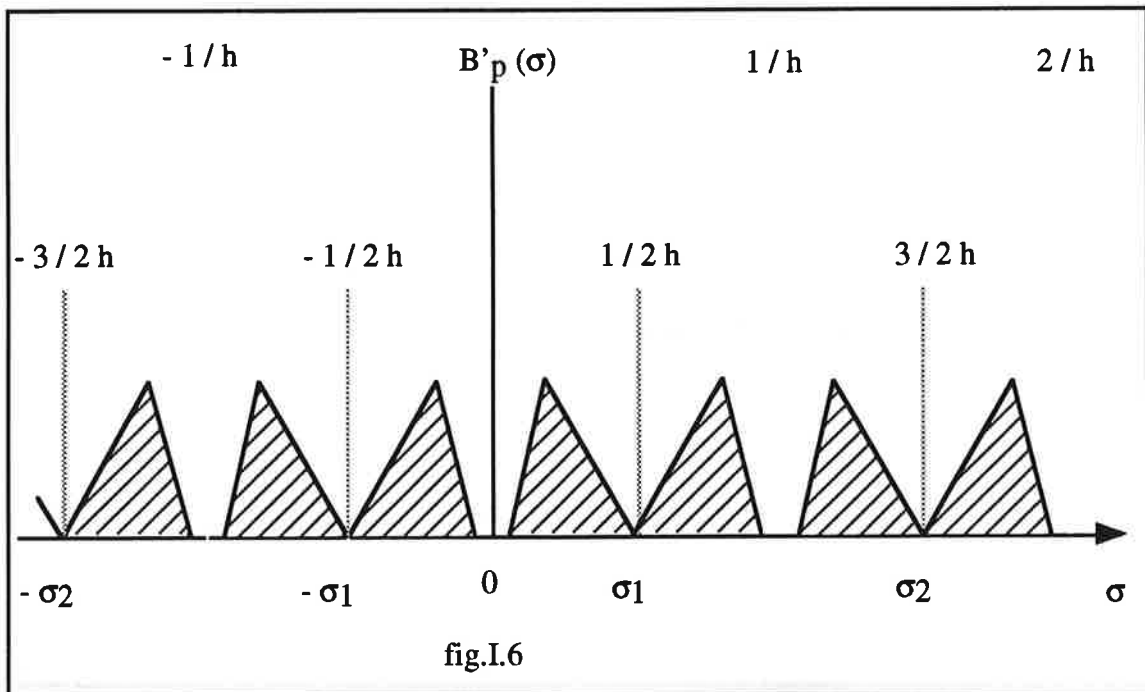
On a donc :  $B'_p(\sigma) = B_p(\sigma) * F_0(\sigma) * R'_h(\sigma)$  (I-23)

Ou encore :  $B'_p(\sigma) = B_p(\sigma) * F(\sigma)$  (I-24)

avec  $F(\sigma)$  : nouvelle fonction d'appareil, elle représente une infinité de fonctions  $F_0(\sigma)$ , espacées de  $1/h$  (fig.I.5)



Le spectre obtenu  $B'_p(\sigma)$  est pair et périodique, il représente deux séries de spectres de période  $1/h$ , l'une correspondant à l'intervalle  $[\sigma_1, \sigma_2]$  et l'autre à  $[-\sigma_2, -\sigma_1]$  (fig. I.6)



Pour éviter les recouvrements de ces spectres, il faut que :

$$\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_2 \leq 1 / 2 h. \quad (\text{I-25})$$

Comme nous l'avons vu précédemment, le nombre  $n$  de points à relever est égal au rapport  $L / h$ . Le théorème de l'échantillonnage précise que l'enregistrement de  $n$  échantillons permet de calculer  $n$  valeurs primaires du spectre  $B(\sigma)$  [3]. Pour que la fonction  $B(\sigma)$  soit déterminée il faut que le nombre  $n$  soit au moins égal au nombre  $m$  d'éléments spectraux; un élément spectral étant une portion du spectre comprise entre deux points juste séparés par l'instrument c'est-à-dire distants de la valeur  $\delta\sigma$ . Dans le cas des spectres étudiés, on  $\delta\sigma = 1 / 2 L$ , d'où la condition  $m \geq 2 L \Delta\sigma$  et  $m \leq L / h$ . En choisissant un pas  $h$  vérifiant  $\Delta\sigma \leq 1 / 2 h$ , on aura toujours  $m \leq n$ .

#### I.4- Avantages de la méthode

Les deux avantages principaux de la méthode de spectrométrie par transformation de Fourier sont l'avantage d'étendue et l'avantage multiplex.

##### \* Avantage d'étendue (avantage Jacquinot).

L'avantage d'étendue, qui a été mis en évidence par P. Jacquinot, résulte d'une comparaison entre les différents types de spectromètres et les interféromètres de Michelson.

On définit l'étendue  $U$  d'un appareil spectroscopique comme :

$$U = A \Omega \quad (\text{I-26})$$

où  $A$  est l'aire du collimateur et  $\Omega$  l'angle solide sous-tendu par le détecteur.

A résolution fixe, on démontre que les étendues, pour un spectromètre à réseau et un interféromètre de Michelson, sont respectivement :

$$U_{\text{réseau}} = \frac{1}{f} \frac{A}{R} \quad (\text{I-27})$$

$$U_{\text{Michelson}} = 2 \pi \frac{A}{R} \quad (\text{I-28})$$

où  $l$  est la longueur de la fente d'entrée,  $f$  la distance focale du miroir collimateur du

spectromètre à réseau et R la résolution des spectromètres.

Le rapport  $l / f$  dans les meilleurs spectromètres à réseau est inférieur à  $1 / 30$ , donc l'interféromètre de Michelson a une étendue plus élevée que celle du spectromètre à réseau.

Du fait de sa symétrie de révolution, l'interféromètre collecte les photons émis par la source de façon plus efficace.

#### **\* Avantage multiplex (avantage Fellgett)**

Cet avantage découle de l'analyse simultanée de tous les éléments spectraux lors de l'enregistrement du spectre. Pour comprendre ce phénomène, on considère une région spectrale telle que  $\sigma \in [\sigma_1, \sigma_2]$  avec une limite de résolution  $\delta\sigma$ , le nombre d'éléments contenus dans la région spectrale étudiée est :  $m = (\sigma_2 - \sigma_1) / \delta\sigma$ .

Dans le cas d'un spectromètre à réseau, on observe successivement chaque élément pendant un temps  $T/m$  où  $T$  est la durée totale de l'enregistrement. Le rapport signal sur bruit est alors proportionnel à  $\sqrt{T/m}$ .

Pour un interféromètre de Michelson, lorsque le bruit dominant est le bruit propre du détecteur, situation qui se rencontre dans l'infrarouge [4], le gain augmente avec le nombre  $m$  d'éléments spectraux d'un facteur  $\sqrt{m}$ . Cela est dû au multiplexage des éléments spectraux durant l'enregistrement du spectre.

## **II- Caractéristiques de l'interféromètre**

L'interféromètre utilisé dans nos expériences est dit de la "3<sup>ème</sup> génération"; il fut entièrement réalisé au laboratoire Aimé Cotton. C'est un interféromètre de Michelson, à bras repliés pour diminuer l'encombrement (fig.II.1). Les miroirs plans ont été remplacés par deux systèmes afocaux du type "oeil de chat", l'un fixe et l'autre mobile. La lame séparatrice de la figure (I-1) est en réalité formée par deux lames distinctes : une lame séparatrice S et une lame mélangeuse M. L'entrée et la sortie du faisceau à étudier et celles du faisceau de référence sont situées à deux hauteurs différentes. Les deux faisceaux suivent le même chemin mais en sens inverse. Le passage d'un niveau à l'autre se fait par réflexion sur les

miroirs  $m_1$  et  $m_2$ . Les lames  $Q_1$  et  $Q_2$  sont deux lames quart d'ondes destinées au contrôle de la différence de marche; elles sont traversées par le faisceau de référence représenté en pointillé. Ce faisceau, de diamètre 10 mm, passe au centre du faisceau à analyser (de diamètre 80 mm).

Le chariot qui porte l'oeil de chat mobile a un déplacement maximal de 1 m soit une différence de marche maximale  $L = 2$  m, ou une limite de résolution  $\delta\sigma = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ . La cadence maximale d'enregistrement est de 50 échantillons par seconde. Le pas élémentaire vaut 350 Å. Le domaine spectral de fonctionnement de l'instrument ( fixé par les détecteurs et la transparence des matériaux optiques) est compris entre 4  $\mu\text{m}$  et 1  $\mu\text{m}$  , il a pu être étendu jusqu'à 500 nm tout en conservant une qualité acceptable.

Un des problèmes techniques les plus importants consiste à maintenir un contrôle très précis de la différence de marche tout au long de ses 2 m de variation. Toute erreur sur la mesure de  $\delta$  se répercute sur la qualité du spectre entier [5]. Le contrôle de la différence de marche est assuré par un faisceau de référence utilisant une radiation monochromatique; il s'agit de la raie "superradiante" du xénon, de longueur d'onde  $\lambda_r = 3,5 \mu\text{m}$ , obtenue par décharge continue. Sa grande intensité et sa stabilité spectrale en font un étalon adapté au "pilotage" de l'interféromètre. Elle est polarisée rectilignement après son passage dans un polariseur placé à l'entrée de l'interféromètre, les deux lames quart-d'ondes  $Q_1$  et  $Q_2$  transforment la vibration rectiligne, respectivement en une circulaire droite et une circulaire gauche. Après réflexion sur les miroirs  $m_1$  et  $m_2$ , ces deux vibrations se recombinent sur la lame mélangeuse M et donnent une vibration rectiligne d'intensité constante, indépendante de la différence de marche  $\delta$ . Par contre l'azimut  $\alpha$  de la vibration dépend linéairement de  $\delta$ ; il tourne de  $\pi$  pour une variation de  $\delta$  égale à  $\lambda_r = 3,5 \mu\text{m}$ . Si  $\delta_0$  est une valeur particulière de  $\delta$  et  $\alpha_0$  l'azimut correspondant, on obtient :

$$\alpha - \alpha_0 = \pi \frac{\delta - \delta_0}{\lambda_r} \quad (\text{V-1})$$

Donc si on connaît  $\alpha$ , on en déduit la valeur de  $\delta$ . Asservir l'interféromètre à une valeur de  $\delta$  voulue, revient donc à imposer une valeur à  $\alpha$ .



Dans ce but, on place sur le trajet de sortie du faisceau de référence une lame demi-onde tournant à la vitesse constante de  $N$  tours/seconde. Cette lame fait tourner la vibration rectiligne à  $2N$  tours / seconde. Cette vibration est analysée par un polariseur rectiligne identique à celui de l'entrée. Le flux lumineux est modulé sinusoidalement en intensité à la fréquence  $4N$  Hz, puis détecté par un récepteur. Il produit un signal  $F$  en phase avec les variations de  $\delta$  :

$$F = I \sin \left( 4 N t + \frac{\delta - \delta_0}{\lambda_r} \right) \quad (V-2)$$

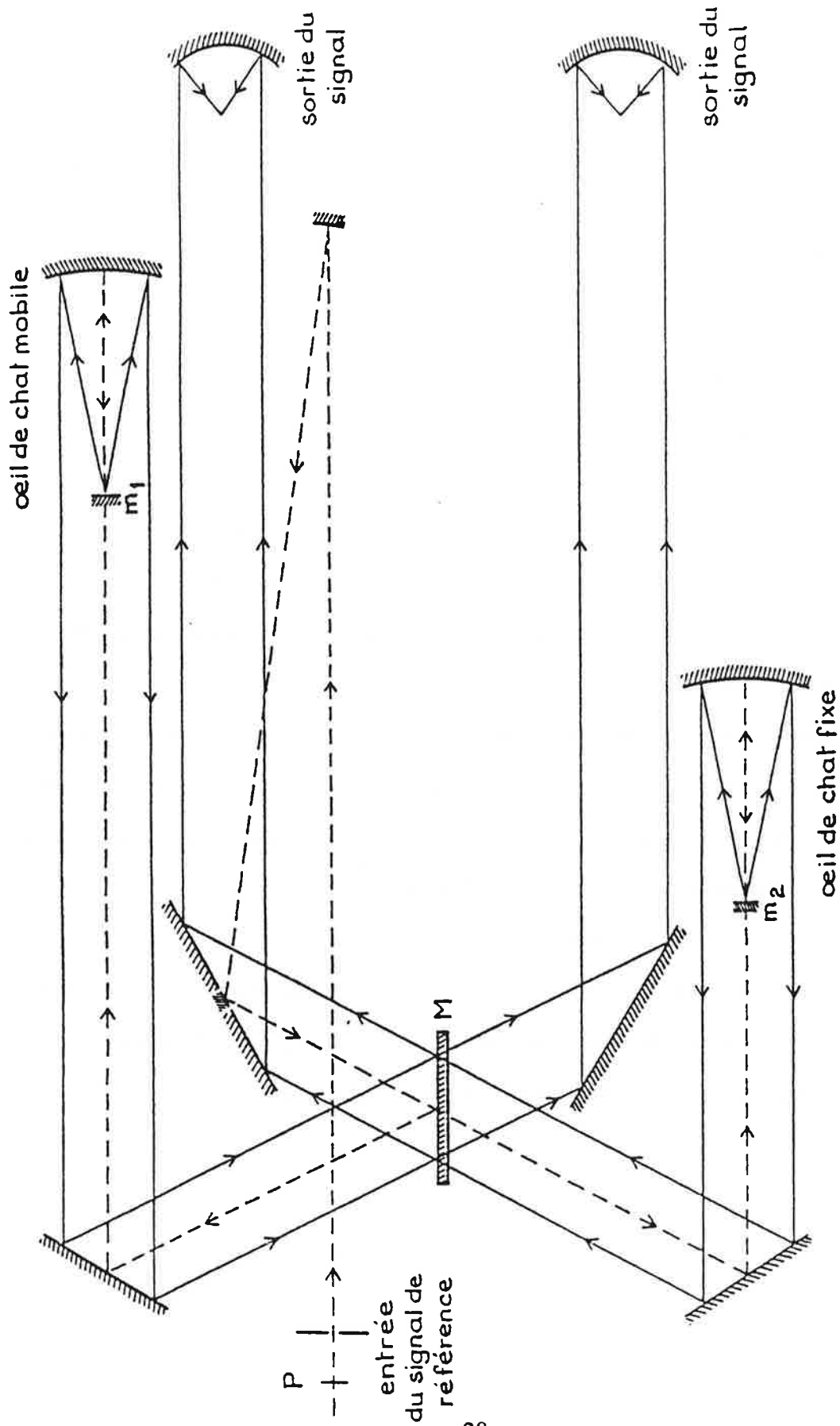
(en prenant pour origine la phase obtenue pour  $\delta = \delta_0$ )

La lame demi-onde tournante est solidaire d'un modulateur qui engendre un signal à une fréquence de  $400N$  Hz, soit 100 fois plus grande que la fréquence du signal  $F$ . Ceci permet de diviser le pas d'échantillonnage par un facteur 100, soit  $350 \text{ \AA}$ .

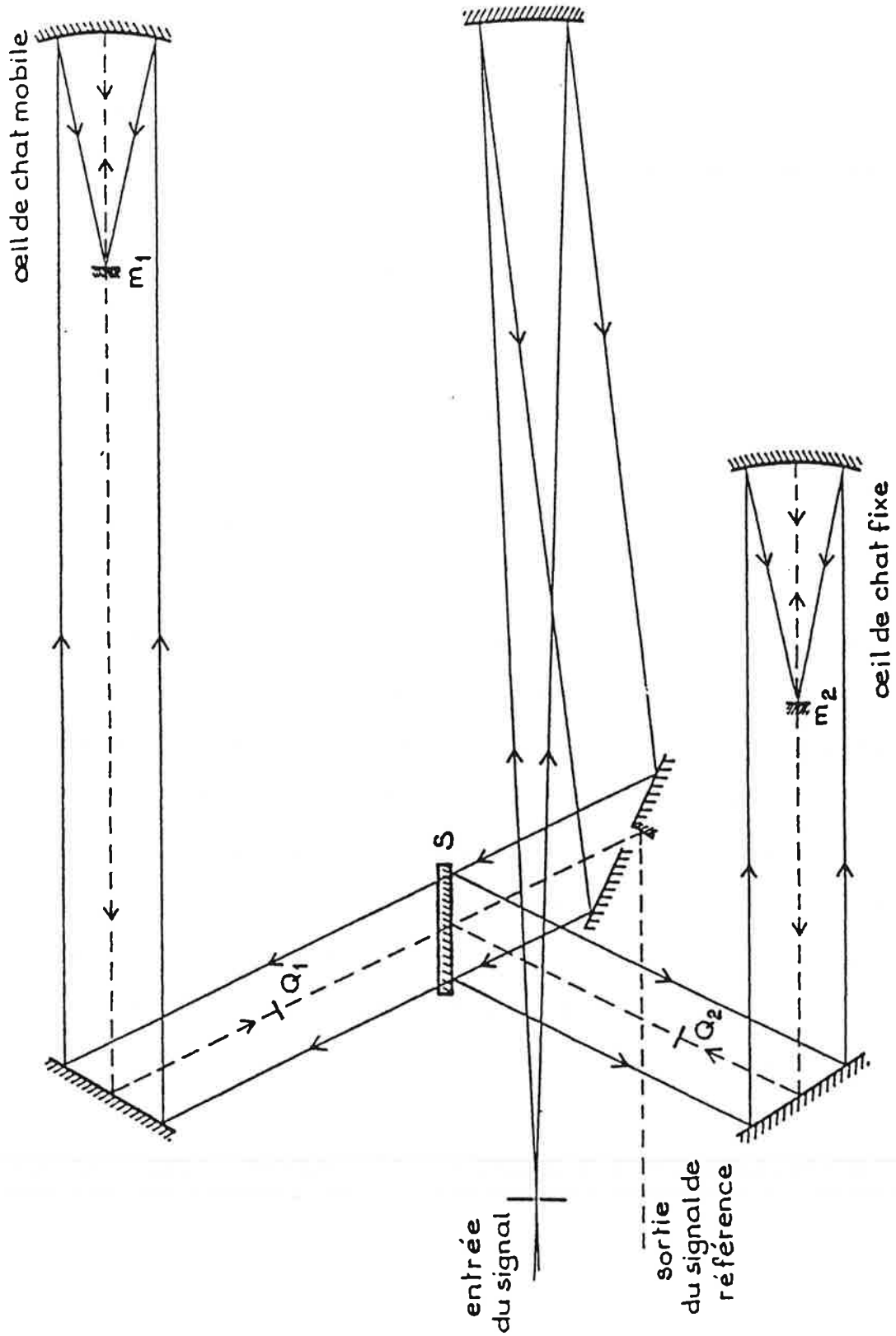
Le contrôle de la différence de marche est assuré mécaniquement par :

- \* Un moteur linéaire entraînant le chariot mobile de l'interféromètre et qui répond aux basses fréquences du signal d'erreur (moins de 50 Hz);
- \* Deux céramiques piézoélectriques qui portent les miroirs  $m_1, m_2$ . Répondant aux hautes fréquences, elles ont un déplacement maximal de  $\pm 20 \mu\text{m}$  et permettent de compenser le retard dû à l'inertie du chariot dans son avance pas à pas. Les céramiques assurent, par ailleurs la modulation interne de la différence de marche  $\delta$ .

Le pas d'échantillonnage est un multiple entier du pas élémentaire  $h_0$ . Celui-ci est aussi commandé par le faisceau de référence [6]. La petitesse de  $h_0$  offre une grande souplesse d'utilisation car pour un domaine spectral fixé, il est possible d'enregistrer le nombre minimal de mesure  $n = m$  donné par le théorème d'échantillonnage.



- NIVEAU SUPERIEUR -



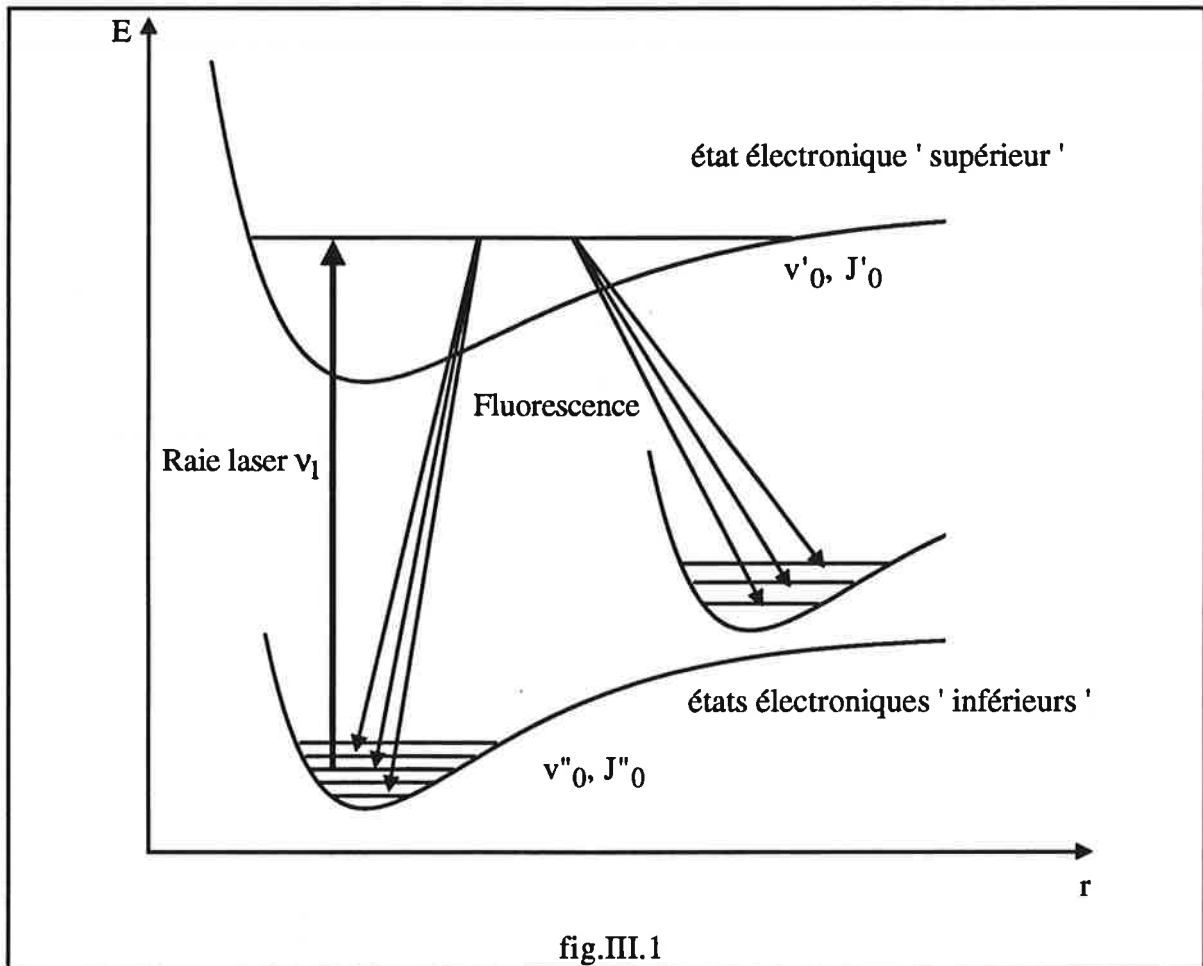
- NIVEAU INFÉRIEUR -

fig.II.1 : Schéma de l'interféromètre

### III- Fluorescence induite par laser

La découverte des lasers a ouvert de nouveaux horizons en spectroscopie et notamment en spectroscopie moléculaire. De nombreuses méthodes utilisant les potentialités particulières des lasers ont été conçues et l'une de ces méthodes est la fluorescence induite par laser.

Cette technique consiste à observer le spectre d'émission des molécules excitées par la radiation émise par le laser. En effet, une molécule initialement dans un niveau ro-vibrationnel ( $v''_0, J''_0$ ) de l'état électronique fondamental est excitée par un rayonnement émis par un laser vers un niveau ro-vibrationnel ( $v'_0, J'_0$ ) d'un état électronique de plus grande énergie (fig.III.1). Le niveau ( $v'_0, J'_0$ ) est peuplé sélectivement par absorption. Le comportement dynamique de ce niveau dépend de la compétition entre les différents processus de désexcitation. Dans le cas où le phénomène radiatif l'emporte, la molécule revient vers de nombreux niveaux ro-vibrationnels de l'état fondamental ou vers des états intermédiaires tout en respectant les règles de sélection (cf.chap.II). L'attribution des transitions émises permet d'étudier principalement les niveaux de rotation-vibration des états électroniques ayant une énergie plus faible que celle de l'état excité. Du fait de la petite largeur spectrale des radiations émises par les lasers utilisés, les coïncidences avec une transition de la molécule sont peu nombreuses et seuls quelques niveaux de rotation-vibration sont excités. En conséquence on obtient peu d'informations sur l'état excité directement par la raie laser. Pour avoir plus d'informations sur ce dernier, on peut si l'on dispose d'un laser à longueur d'onde variable faire une excitation pas-à-pas. On peut aussi exciter avec des photons plus énergétiques de façon à ce que l'état électronique "supérieur" devienne un état électronique "inférieur".



On peut résumer les principaux avantages de la technique en deux points :

- \* L'excitation sélective rend la structure des spectres "relativement" simple d'où une plus grande facilité d'attribution des transitions contrairement à une excitation large bande dans laquelle le grand nombre de raies spectrales émises empêche souvent l'attribution des transitions;
- \* L'intensité des radiations émises par les lasers permet d'avoir une grande densité de molécules dans des niveaux excités, donc les transitions peu probables deviennent observables avec un bon rapport signal sur bruit.

La fluorescence induite par laser, associée avec la spectrométrie par transformation de Fourier, s'est révélée une technique très performante pour l'étude des molécules diatomiques et peut être considérée comme une complémentarité de l'absorption ou de l'excitation large bande.

## IV- Description du montage expérimental

### IV.1- La molécule BaCl et sa production

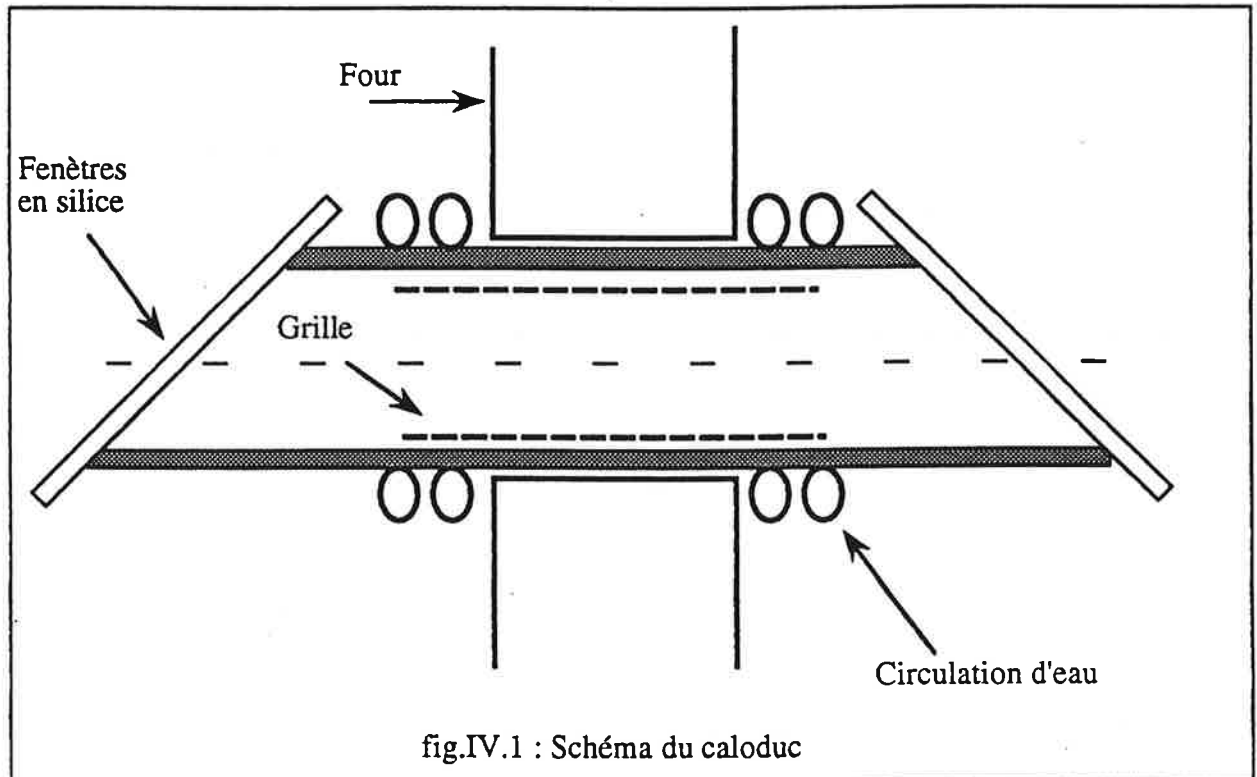
Le baryum Ba est un alcalin lourd, sa masse est 137,56 u.a, il possède 56 électrons, sa configuration électronique fondamentale est  $6s^2$ .

Le chlore Cl est un halogène (groupe VIIA), sa masse est de 35,455 u.a, sa configuration électronique fondamentale est  $3p^5$  et il possède 17 électrons.

La molécule BaCl est de masse réduite  $\mu = 28,19$ . Le baryum est lourd et possède un assez fort couplage spin-orbite, il en est de même pour la molécule BaCl. Ses états d'énergie correspondent alors à un cas intermédiaire entre les cas a) et c) de Hund (cf.chap.II).

La source utilisée pour la production de la molécule BaCl est un caloduc. Son utilisation comme source spectroscopique a été proposée pour la première fois par Vidal et Cooper [7]. C'est une source stable présentant l'avantage de fonctionner plusieurs centaines d'heures sans rechargement (fig.IV.1). C'est un tube fermé à ses extrémités par des fenêtres en silice inclinées sous l'incidence de Brewster. Les parois intérieures sont couvertes d'une grille cylindrique en acier inoxydable sur laquelle on dépose un mélange de quelques grammes de poudre de BaCl<sub>2</sub> et du baryum métallique. La partie centrale du caloduc est chauffée par un four composé de résistances et les extrémités sont refroidies par une circulation d'eau. Le tube est rempli avec un gaz tampon (argon) afin d'empêcher les molécules de migrer vers les fenêtres d'observation, de s'y déposer et les obscurcir.

Lorsque la température est suffisante (environ 1120°C), des molécules de BaCl sont produites selon l'équilibre chimique :  $Ba + BaCl_2 \leftrightarrow 2 BaCl$ . Le gaz BaCl migre vers les extrémités plus froides par convection, s'y condense et retourne partiellement vers la partie chaude par capillarité. Ce cycle assure une bonne stabilité en température et en pression, et permet un fonctionnement pour quelques centaines d'heures.



#### IV.1- Montage expérimental

Les molécules de BaCl sont excitées par trois types de laser :

- \* Laser Argon ionisé Spectra physics 171-19
- \* Laser krypton ionisé innova K-3000
- \* Laser Sapphire Titane Coherent 899-21

Le montage expérimental est représenté sur la figure IV.2. Les fenêtres sont orientées à l'angle de Brewster pour éviter les réflexions de la lumière laser dans le verre et dans le caloduc. Le miroir M, percé au centre, sert à collecter la lumière de fluorescence sans réfléchir la raie laser. La lentille L est réglée pour conjuguer le centre du caloduc avec le diaphragme d'entrée de l'interféromètre. Le filtre F est choisi en fonction de la zone spectrale que l'on veut étudier.

Quand la source est stable, on envoie le rayonnement du laser dans le caloduc. La

fluorescence en diffusion arrière, émise par les molécules, est renvoyée vers l'interféromètre par le miroir M. Les valeurs numériques de l'interférogramme sont stockées sur une bande magnétique. Le spectre est obtenu après le calcul de la transformée de Fourier sur un ordinateur du CIRCE. Actuellement, le calcul se fait au laboratoire sur des stations de travail (SUN). Simultanément à l'enregistrement sur la bande magnétique, un calculateur permet d'obtenir le spectre en temps réel et de le visualiser sur l'écran d'un oscilloscope. On peut ainsi juger sa qualité et éventuellement interrompre l'enregistrement.

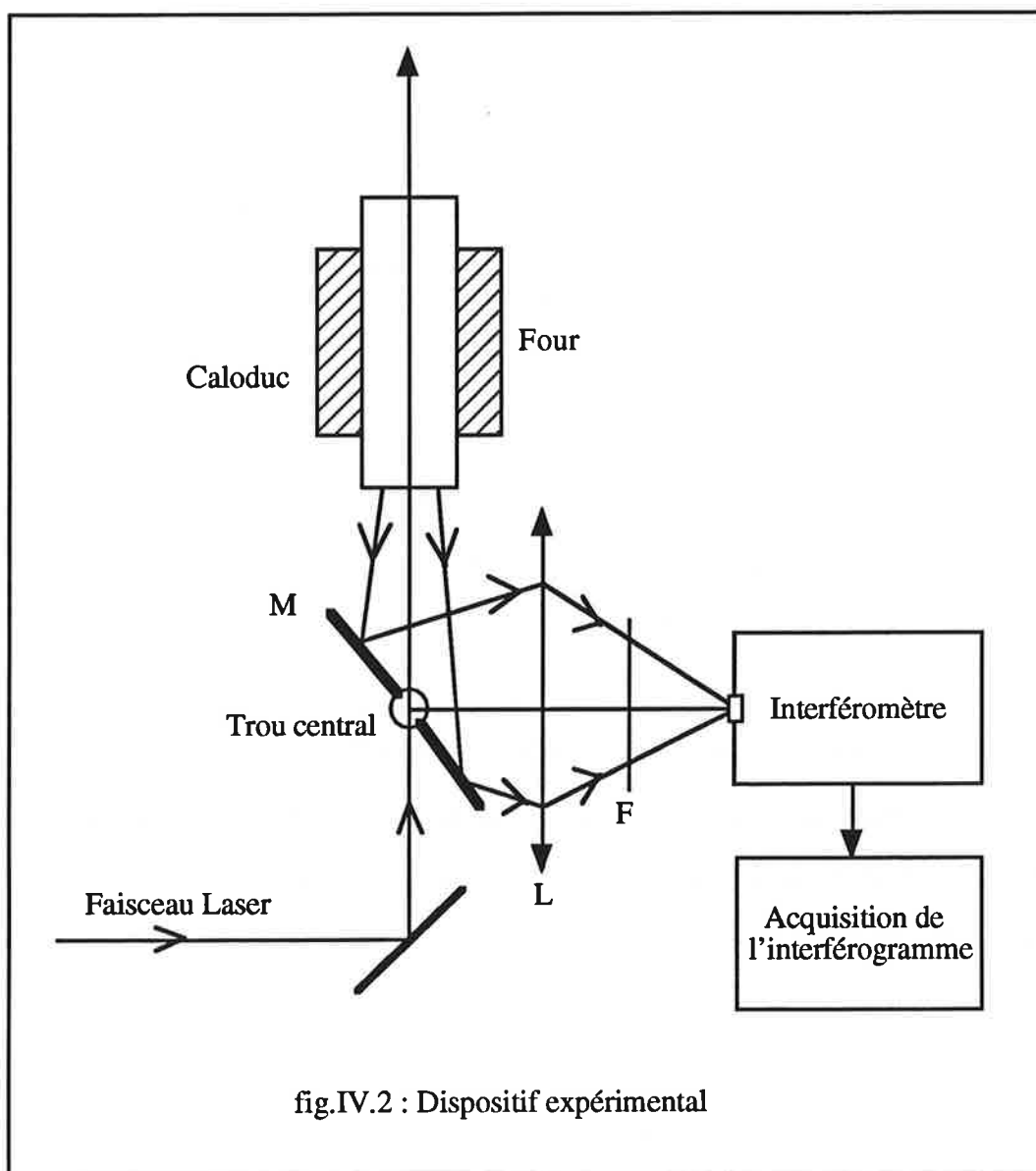


fig.IV.2 : Dispositif expérimental



## **Références du chapitre I**

- [1] J. Connes, *J. Phys.*, 19 (1958) 197.
- [2] P. Jacquinot, *J. Phys.*, 19 (1958) 223.
- [3] C. Shannon, S. Weaver, "The mathematical theory of communication". University Illinois Press, 1949, p.53.
- [4] R. Damaschini, *Pure Appl. Opt.* 2 (1993) 173.
- [5] J. Connes, "Thèse de Doctorat d'Etat" Orsay 1960.
- [6] J. Connes, H. Delouis, P. Connes, G. Guelachvilli, J. P. Maillard, G. Michel, *Nouv. Rev. d'Optique Appliquée*, 1 (1970) 3.
- [7] C. R. Vidal, J. Cooper, *J. Appl. Phys.*, 40 (1969) 337.







## Chapitre II

### ELEMENTS THEORIQUES

#### I- Moments cinétiques d'une molécule diatomique

#### II- Symétries et règles de sélection

II-1 Référentiels

II-2 Opérateurs de symétrie

II-3 Types de symétrie

II-4 Règles de sélection

#### III- Hamiltonien moléculaire

III-1 Expression de  $H_0$

III-2 Expression de  $H_{rot}$

III-3 Expression de  $H_{sf}$

#### IV- Matrice de l'hamiltonien

IV-1 Les cas de Hund

IV-2 Les éléments de matrice de l'hamiltonien

IV-3 Le dédoublement  $\Lambda$

IV-4 La transformation de Wang

IV-5 La distorsion centrifuge

#### V- Représentation polynomiale des termes d'énergie

#### VI- Effet isotopique

#### VII- Courbes de potentiel



Dans ce chapitre nous allons rappeler le modèle théorique permettant l'interprétation des spectres enregistrés et le calcul des paramètres caractérisant les états électroniques de la molécule BaCl. Après un rappel consacré aux moments angulaires et aux symétries, nous établirons l'expression de l'hamiltonien d'une molécule diatomique et celle de ses éléments de matrice dans une base convenable. Ensuite, l'écriture des termes d'énergie sous une forme polynomiale permettra d'obtenir les relations entre les constantes moléculaires des variétés isotopiques  $^{138}\text{Ba}^{35}\text{Cl}$  et  $^{138}\text{Ba}^{37}\text{Cl}$ . Dans le dernier paragraphe de ce chapitre nous présenterons la méthode R.K.R utilisée pour le calcul des courbes de potentiel des états électroniques étudiés.

## I- Moments angulaires d'une molécule diatomique

Dans le tableau ci-dessous sont regroupées les notations utilisées pour les différents moments angulaires intervenant dans une molécule diatomique ainsi que celles de leurs valeurs propres et de leurs projections par rapport à l'axe internucléaire [1]:

moments angulaires	opérateur	valeurs propres	projection par rapport à l'axe internucléaire
orbital électronique	<b>L</b>	<b>L</b>	$\Lambda$
spin électronique	<b>S</b>	<b>S</b>	$\Sigma$
nucléaire de rotation	<b>R</b>	<b>R</b>	$\Omega$
total sans spin	<b>N = R + L</b>	<b>N</b>	$\Lambda$
total	<b>J = R + L + S</b>	<b>J</b>	$\Omega = \Lambda + \Sigma$

où :

- \* **L** =  $\sum l_i$  est le moment orbital des électrons.
- \* **S** =  $\sum s_i$  est le moment lié au spin des électrons.
- \* **R** est le moment associé à la rotation des noyaux.
- \* **J** est le moment cinétique total.

Ces moments angulaires obéissent aux relations de commutation suivantes :

$$[A_x, A_y] = i A_z \quad [A_y, A_z] = i A_x \quad [A_z, A_x] = i A_y$$

où  $x, y, z$  sont relatifs au référentiel de la molécule.

Leurs valeurs propres sont telles que:

$$A^2 |A \alpha\rangle = A(A+1) |A \alpha\rangle \quad (I-1)$$

$$A_z |A \alpha\rangle = \alpha |A \alpha\rangle \quad (I-2)$$

où :

$A$  représente les moments  $J, L$  ou  $S$ .

Les grandeurs  $A(A+1)$  et  $\alpha$  sont respectivement les valeurs propres des opérateurs  $A^2$  et  $A_z$  :  $A_z$  est la projection de  $A$  par rapport à l'axe internucléaire et  $|A \alpha\rangle$  est une fonction propre commune aux opérateurs  $A^2$  et  $A_z$ .

Au lieu d'utiliser les composantes  $A_x$  et  $A_y$ , il est commode d'introduire les combinaisons linéaires  $A^\pm$  définies de la façon suivante:

$$A^\pm = A_x \pm i A_y \quad (I-3)$$

et dont l'action sur les fonctions  $|A \alpha\rangle$  est telle que :

$$A^\pm |A \alpha\rangle = [A(A+1) - \alpha(\alpha \pm 1)]^{1/2} |A \alpha \pm 1\rangle. \quad (I-4)$$

## II- Symétries et règles de sélection

### II-1 Référentiels

En physique moléculaire on utilise deux types de référentiels :

- un référentiel fixe, dit référentiel du laboratoire, où les coordonnées des noyaux et des électrons sont notées respectivement  $(X_N, Y_N, Z_N)$  et  $(X_i, Y_i, Z_i)$ ,
- un référentiel mobile lié à la molécule, appelé référentiel moléculaire, et dont la position par rapport au référentiel du laboratoire est déterminée à l'aide des angles d'Euler  $\phi, \theta, \chi$ . Le choix de  $\chi$  étant arbitraire, nous utiliserons dans la suite la convention  $\chi = \pi/2$ . Les coordonnées des noyaux et des électrons sont notées respectivement  $(R, \phi, \theta)$  et  $(x_i, y_i, z_i)$ .

Le passage d'un référentiel à un autre se fait par l'intermédiaire de la matrice de



passage [2] suivante :

$$\begin{pmatrix} -\sin \phi & -\cos \phi \cos \theta & \cos \phi \sin \theta \\ \cos \phi & -\sin \phi \cos \theta & \sin \phi \sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

## II-2 Opérateurs de symétrie

Les principaux opérateurs de symétrie d'une molécule diatomique sont les suivants [3]:

I : opérateur d'inversion de toutes les coordonnées du système:

$$I [X_N, Y_N, Z_N] = [-X_N, -Y_N, -Z_N]$$

$$I [X_i, Y_i, Z_i] = [-X_i, -Y_i, -Z_i]$$

$$I [r, \theta, \phi] = [r, \pi - \theta, \pi + \phi]$$

$$I [x_i, y_i, z_i] = [x_i, -y_i, z_i]$$

P : opérateur de permutation des deux noyaux:

$$P [X_N, Y_N, Z_N] = [-X_N, -Y_N, -Z_N]$$

$$P [X_i, Y_i, Z_i] = [X_i, Y_i, Z_i]$$

$$P [r, \theta, \phi] = [r, \pi - \theta, \pi + \phi]$$

$$P [x_i, y_i, z_i] = [-x_i, y_i, -z_i]$$

$\sigma_v(x, y)$  : opérateur de réflexion par rapport au plan contenant les deux noyaux dans le référentiel moléculaire.

$$\sigma_v(x, y) [x_i, y_i, z_i] = [x_i, -y_i, z_i]$$

i : opérateur d'inversion des coordonnées électroniques dans le référentiel du laboratoire.

$$i [X_i, Y_i, Z_i] = [-X_i, -Y_i, -Z_i]$$

## II-3 Types de symétries

Dans une molécule diatomique, les symétries d'un état électronique sont définies par rapport au comportement des fonctions d'ondes électronique, vibrationnelle et rotationnelle sous l'action des opérateurs de symétrie. Rappelons brièvement ces différents types de symétrie:

**\* Parité totale  $\Pi$**

La parité de la fonction d'onde totale  $\psi$  d'une molécule diatomique est définie par son comportement par rapport à une inversion  $I$  de toutes les coordonnées du système :

Si  $I \psi = + \psi$  l'état est pair.

Si  $I \psi = - \psi$  l'état est impair.

**\* Symétrie s, a**

Dans le cas des molécules diatomiques homonucléaires, la fonction d'onde totale est dite symétrique si elle ne change pas de signe quand les noyaux sont échangés et antisymétrique dans le cas contraire.

**\* Symétrie e, f**

Cette symétrie, définie par Brown *et al.*[4], caractérise la symétrie des niveaux rotationnels par rapport à la parité  $\Pi$  de la fonction d'onde totale. Lorsque le nombre quantique rotationnel  $J$  est entier, le niveau rotationnel est de type e si  $\Pi = (-1)^J$  et de type f si  $\Pi = -(-1)^J$ . Lorsque  $J$  est demi-entier, le niveau rotationnel est de type e si  $\Pi = (-1)^{J - 1/2}$  et de type f si  $\Pi = -(-1)^{J - 1/2}$ .

**\* Parité de Krönig +, -**

Cette symétrie, définie uniquement pour les états  $\Sigma$  ( $\Lambda = 0$ ), caractérise le comportement de la fonction d'onde électronique  $\phi_e$  après réflexion  $\sigma_v$  par rapport au plan contenant les deux noyaux:

Si  $\phi_e$  change de signe l'état est noté  $\Sigma^-$  et

si  $\phi_e$  ne change pas de signe l'état est  $\Sigma^+$

**\* Symétrie "gerade", "ungerade" g, u**

Cette symétrie ne s'applique qu'aux molécules diatomiques homonucléaires et concerne le comportement de la fonction d'onde électronique  $\phi_e$  lors d'une inversion des coordonnées des électrons :

$i \phi_e = + \phi_e$  l'état est dit g "gerade"

$i \phi_e = - \phi_e$  l'état est dit u "ungerade".

#### II-4 Règles de sélection

Connaissant les symétries des niveaux d'énergie d'une molécule diatomique, il est important de savoir quels niveaux peuvent être reliés par une transition. Les règles de sélection concernant les transitions dipolaires électriques sont les suivantes [1, 10] :

##### a) Règles de sélection sur la symétrie de la fonction d'onde totale

\* Parité: seuls les niveaux de parité opposée peuvent être reliés par une transition dipolaire électrique  $+ \leftrightarrow -$ .

\* s, a : cas homonucléaire, les états symétriques se combinent uniquement avec les états symétriques; de même pour les états antisymétriques:  $s \leftrightarrow s$  et  $a \leftrightarrow a$ .

##### b) Règles de sélection sur la symétrie de la fonction d'onde électronique

\* g, u : Pour les molécules homonucléaires, les états g ne se combinent qu'avec les états u et vice-versa:  $g \leftrightarrow u$ .

\* Parité de Krönig : Les transitions dipolaires électriques ne sont permises qu'entre états  $\Sigma$  de même parité  $\Sigma^+ \leftrightarrow \Sigma^+$ ,  $\Sigma^- \leftrightarrow \Sigma^-$  et  $\Sigma^+ \leftrightarrow \Sigma^-$ .

##### c) Règles de sélection sur le moment cinétique total

La règle de sélection des transitions dipolaires électriques sur le moment cinétique total de la molécule est :

$\Delta J = 0, \pm 1$  avec la transition  $J = 0 \leftrightarrow J = 0$  interdite.

Les transitions  $\Delta J = J' - J'' = 0, \pm 1$  forment trois branches :

$\Delta J = -1$	correspond à une branche P
$\Delta J = 0$	" " " Q
$\Delta J = +1$	" " " R

où  $J'$  est le nombre quantique du moment cinétique total du niveau supérieur de la transition et  $J''$  celui du niveau inférieur.

### III- Hamiltonien moléculaire

En l'absence de champ extérieur, l'hamiltonien total d'une molécule diatomique peut s'écrire sous la forme suivante [5]:

$$H = H_0 + H_{\text{rot}} + H_{\text{sf}} + H_{\text{shf}} \quad (\text{III-1})$$

où:

\*  $H_0$  est l'hamiltonien caractérisant l'énergie électronique et l'énergie de vibration de la molécule.

\*  $H_{\text{rot}}$  est l'hamiltonien caractérisant l'énergie de rotation  $E_{\text{rot}}$  de la molécule.

\*  $H_{\text{sf}}$  est l'hamiltonien de structure fine qui tient compte des interactions des moments magnétiques des électrons avec le champ magnétique de la molécule.

\*  $H_{\text{shf}}$  est l'hamiltonien de structure hyperfine qui exprime l'interaction des moments magnétiques ou des moments électriques multipolaires avec le champ électro-magnétique interne de la molécule. Cette interaction est généralement plus faible que les autres et la structure hyperfine est rarement résolue dans les spectres optiques; elle est en effet souvent masquée par l'effet Doppler. Dans la suite de notre étude  $H_{\text{shf}}$  sera négligé.

Les niveaux d'énergie de la molécule sont obtenus en résolvant l'équation de Schrödinger indépendante du temps:

$$H\Psi = E\Psi \quad (\text{III-2})$$

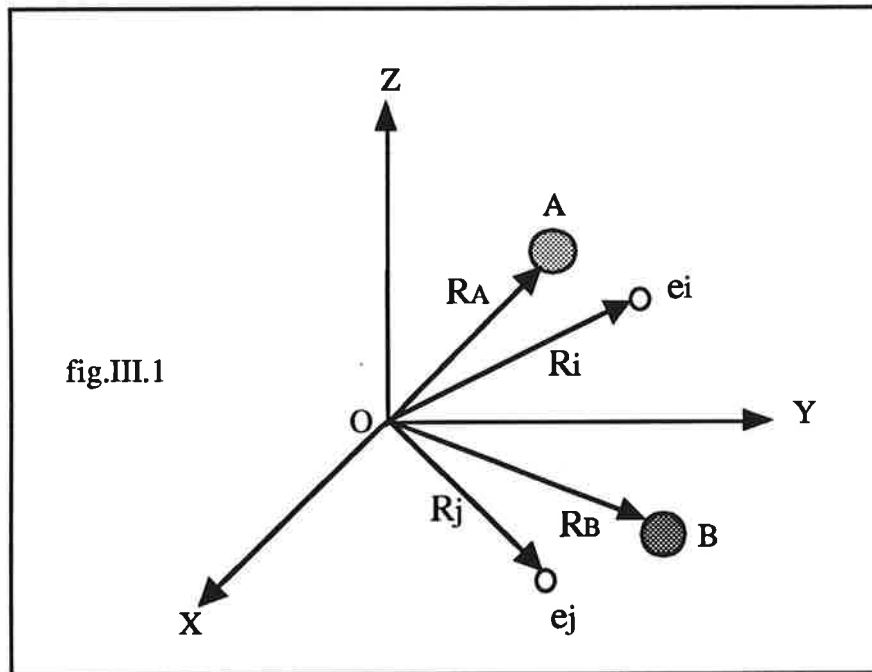
où  $\Psi$  est la fonction d'onde totale de la molécule. Cette fonction est développée selon une base orthonormée de fonctions  $\phi_i$  ( $\Psi = \sum a_i \phi_i$ ). Les énergies  $E$  sont les racines du déterminant:

$$|H_{ij} - E \delta_{ij}| = 0 \quad (\text{III-3})$$

où  $H_{ij}$  est l'élément de matrice  $\langle \phi_i | H | \phi_j \rangle$  et  $\delta_{ij}$  est le symbole de Kronecker.

### III-1 Expression de $H_0$

Considérons une molécule constituée de deux noyaux A et B de masses et de charges respectives  $M_A, M_B$  et  $Z_A, Z_B$ . Les noyaux sont entourés par  $Z$  électrons de masse commune  $m$  (fig III-1).



L'hamiltonien  $H_0$  s'écrit :

$$H_0 = T_N + T_e + V_{ee} + V_{eN} + V_{NN} \quad (\text{III-4})$$

où:

$T_N$  est l'énergie cinétique des noyaux.

$T_e$  est l'énergie cinétique des électrons.

$V_{NN}$  est l'énergie d'interaction entre les deux noyaux.

$V_{ee}$  est l'énergie d'interaction entre les électrons.

$V_{eN}$  est l'énergie d'interaction entre les électrons et les noyaux.

Dans le référentiel (O, X, Y, Z) du laboratoire,  $H_0$  s'écrit sous la forme:

$$H_0 = \frac{P_A^2}{2M_A} + \frac{P_B^2}{2M_B} + \sum_{i=1}^Z \frac{P_i^2}{2m} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{Z_A Z_B}{|\vec{R}_A - \vec{R}_B|} + \sum_{i < j} \frac{1}{|\vec{R}_i - \vec{R}_j|} - \sum_{i=1}^Z \left( \frac{Z_A}{|\vec{R}_A - \vec{R}_i|} + \frac{Z_B}{|\vec{R}_B - \vec{R}_i|} \right) \right\} \quad (\text{III-5})$$

Etant donné que la masse des électrons est très inférieure à celle des noyaux, on peut assimiler le centre de masse du système au centre de masse des seuls noyaux.

Dans le référentiel du centre de masse, l'hamiltonien  $H_0$  s'écrit alors sous la forme:

$$H_0 = \frac{p^2}{2\mu} + \sum_{i=1}^Z \frac{p_i^2}{2m} + \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{Z_A Z_B}{r} + \sum_{i < j} \frac{1}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} - \sum_{i=1}^Z \left( \frac{Z_A}{\left| \vec{r}_i - \frac{M_B}{M} \vec{r} \right|} + \frac{Z_B}{\left| \vec{r}_i - \frac{M_A}{M} \vec{r} \right|} \right) \right\} \quad (\text{III-6})$$

|...T<sub>e</sub>! |...T<sub>N</sub>! | ..... V(r<sub>i</sub>, r) .....

où

-  $\mu = \frac{M_A M_B}{M_A + M_B}$  est la masse réduite des noyaux,

-  $M$  est la masse totale de la molécule,

-  $\mathbf{p}$  est l'impulsion de la particule de masse  $m$  et de coordonnée  $\mathbf{r}$ ,

-  $\mathbf{p}_i$  est l'impulsion du  $i$ -ème électron de coordonnée  $\mathbf{r}_i$ .

On peut remarquer dans l'expression de  $H_0$  [III-6] que les mouvements des électrons et des noyaux sont liés. La résolution mathématique d'un tel problème est très difficile, il est donc nécessaire de faire un certain nombre d'approximations. L'approximation de Born-Oppenheimer est la plus couramment utilisée, elle repose sur le fait que le rapport entre la masse des électrons et celle des noyaux est faible. Donc les électrons se déplacent plus rapidement que les noyaux et s'adaptent presque instantanément à un changement de distance entre ceux-ci. Cette variation de la distance internucléaire résulte, soit d'une transition électronique, soit du mouvement vibrationnel-rotationnel. Les noyaux paraissent fixes par rapport aux électrons, la distance internucléaire est alors traitée comme paramètre et non pas comme une variable. Par conséquent, l'hamiltonien  $H_0$  s'écrit sous la forme:

$$H_0 = H_e + H_{\text{vib}} \quad (\text{III-7})$$

$H_e$  et  $H_{vib}$  étant l'hamiltonien électronique et l'hamiltonien de vibration. L'énergie associée à  $H_0$  ne dépend alors que du nombre quantique électronique  $n$  et du nombre quantique vibrationnel  $v$ .

La fonction d'onde totale peut s'écrire :

$$\Psi_{total} = \Psi_e(\vec{r}, \vec{R}) \Psi_n(\vec{R}) \quad (III-8)$$

### III-2 Expression de $H_{rot}$

L'expression de l'hamiltonien de rotation est la suivante:

$$H_{rot} = B(r) |\vec{R}|^2 = B(r) (R_x^2 + R_y^2 + R_z^2) \quad (III-9)$$

où  $B(r) = \frac{h}{8\pi^2 c \mu r^2}$  est la partie radiale de l'opérateur associé à l'énergie de rotation et  $r$  la distance internucléaire. L'axe  $Oz$  étant confondu avec l'axe internucléaire, la projection  $R_z$  est nulle.

Connaissant l'expression reliant le moment angulaire  $J$  avec  $R$ ,  $L$ ,  $S$  (tableau.I.1) et en utilisant les opérateurs  $A^\pm$  (I-3) où  $A = J$ ,  $L$  ou  $S$ , on obtient l'hamiltonien  $H_{rot}$  sous la forme :

$$H_{rot} = B(r) \left( J^2 - J_z^2 + L^2 - L_z^2 + S^2 - S_z^2 + L^+ S^- + L^- S^+ - J^+ S^- - J^- S^+ - J^+ L^- - J^- L^+ \right) \quad (III-10)$$

### III-3 Expression de $H_{sf}$

L'hamiltonien de structure fine est créé par :

- le mouvement orbital des électrons. L'interaction est représentée par l'hamiltonien de spin-orbite  $H_{s-o}$ ;
- les moments magnétiques des électrons. L'interaction est représentée par l'hamiltonien de spin-spin  $H_{s-s}$ ;
- la rotation de la molécule. L'interaction est représentée par l'hamiltonien de spin-rotation  $H_{s-rot}$ .

On écrit :

$$H_{sf} = H_{s-o} + H_{s-s} + H_{s-rot} \quad (III-11)$$

Les trois parties de cet hamiltonien ont des formes microscopiques complexes. On utilisera des formes phénoménologiques [6, 7, 8] :

$$H_{s-o} = A(r) \vec{L} \cdot \vec{S} = A(r) \left\{ L_z S_z + \frac{1}{2} (L^+ S^- + L^- S^+) \right\} \quad (III-12)$$

$$H_{s-s} = \varepsilon(r) (3S_z^2 - S^2) + \alpha(r) (S_x^2 - S_y^2) \delta_{|\Lambda|,1} \quad (III-13)$$

$$H_{s-rot} = \gamma(r) \vec{R} \cdot \vec{S} = \gamma(r) \left\{ J_z S_z - L_z S_z - S^2 + \frac{1}{2} (J^+ S^- - J^- S^+) - \frac{1}{2} (L^+ S^- - L^- S^+) \right\} \quad (III-14)$$

## IV- Matrice de l'hamiltonien

### IV-1 Les cas de Hund

A chaque moment angulaire sont associés d'une part un nombre quantique qui spécifie sa norme et, d'autre part, deux nombres respectivement valeurs de sa projection sur l'axe Oz du référentiel moléculaire et sur l'axe OZ du référentiel fixe du laboratoire (cf.§.I). Les valeurs propres de ces moments angulaires, qui commutent avec  $H_0$ , sont appelées "bons" nombres quantiques. Les fonctions de base sont fonctions propres de ces opérateurs, et sont caractérisées par les valeurs propres associées.

Les "cas de Hund" sont des cas limites de couplage entre les différents moments angulaires de la molécule; ces couplages étant eux mêmes le résultat de la compétition entre les différents termes de l'hamiltonien moléculaire. Ils peuvent être définis par deux considérations principales, l'ensemble des bons nombres quantiques d'une part, et l'expression de l'énergie de rotation, d'autre part. Quatre cas extrêmes de couplage de ces moments cinétiques ont été étudiés par Hund [3] (fig.VI.1). Nous allons rappeler ces couplages, les fonctions propres et les valeurs propres qui en découlent.



### Cas a) de Hund

Le moment électronique orbital  $\mathbf{L}$  et le moment électronique de spin  $\mathbf{S}$  sont faiblement couplés entre eux, mais fortement couplés à l'axe internucléaire. La projection du moment électronique total sur l'axe internucléaire, définie par  $\Omega = \Lambda + \Sigma$ , est couplée avec le moment nucléaire de rotation  $\mathbf{R}$  pour former le moment cinétique total  $\mathbf{J}$ . Les bons nombres quantiques sont  $\Sigma$ ,  $\Lambda$ ,  $\Omega$  et  $S$ . Les fonctions propres sont  $|n \Lambda S \Sigma J M \Omega\rangle$ . Les niveaux d'énergie associés à  $H_0$  forment  $(2S+1)$  sous-états  $\Omega = |\Lambda - S|, \Lambda - S + 1, \dots, |\Lambda + S|$ . Ces états forment la structure fine de l'état électronique considéré, noté  $^{2S+1}|\Lambda|_{\Omega}$ . Le cas a) de Hund est une bonne approximation tant que l'énergie de spin-orbite est beaucoup plus grande que l'énergie de rotation :  $\Delta E_{el} \gg \Delta E_{sf} \gg \Delta E_{rot}$

### Cas b) de Hund

Le cas b) de Hund correspond à une situation où  $\Delta E_{el} \gg \Delta E_{rot} \gg \Delta E_{sf}$ . Le moment électronique de spin  $\mathbf{S}$  est très faiblement lié à l'axe internucléaire. La projection  $\Lambda$  du moment électronique orbital  $\mathbf{L}$  est couplée avec le moment nucléaire de rotation  $\mathbf{R}$  pour former le moment cinétique total sans spin  $\mathbf{K}$ . Ce moment se couple finalement avec  $\mathbf{S}$  pour donner le moment cinétique total  $\mathbf{J}$ . Le nombre quantique  $\Omega$  n'est plus défini. La base de fonctions propres est  $|n J S R\rangle$ .  $\mathbf{S}$  est découplé de l'axe internucléaire et peut être traité à part d'où la base de fonctions propres est  $|n J R\rangle |S\rangle$ .

Les fonctions de base dans les cas a) et b) de Hund sont reliées par une transformation linéaire. On peut faire les calculs des éléments de matrice de l'hamiltonien dans l'une ou l'autre de ces bases.

### Cas c) de Hund

Le cas c) s'applique aux molécules pour lesquelles  $\Delta E_{sf} \gg \Delta E_{el} \gg \Delta E_{rot}$ . La différence avec le cas a) réside dans l'importance du couplage spin-orbite purement électronique.  $\mathbf{L}$  et  $\mathbf{S}$  sont couplés et forment un moment résultant  $\mathbf{J}_a$  dont la précession

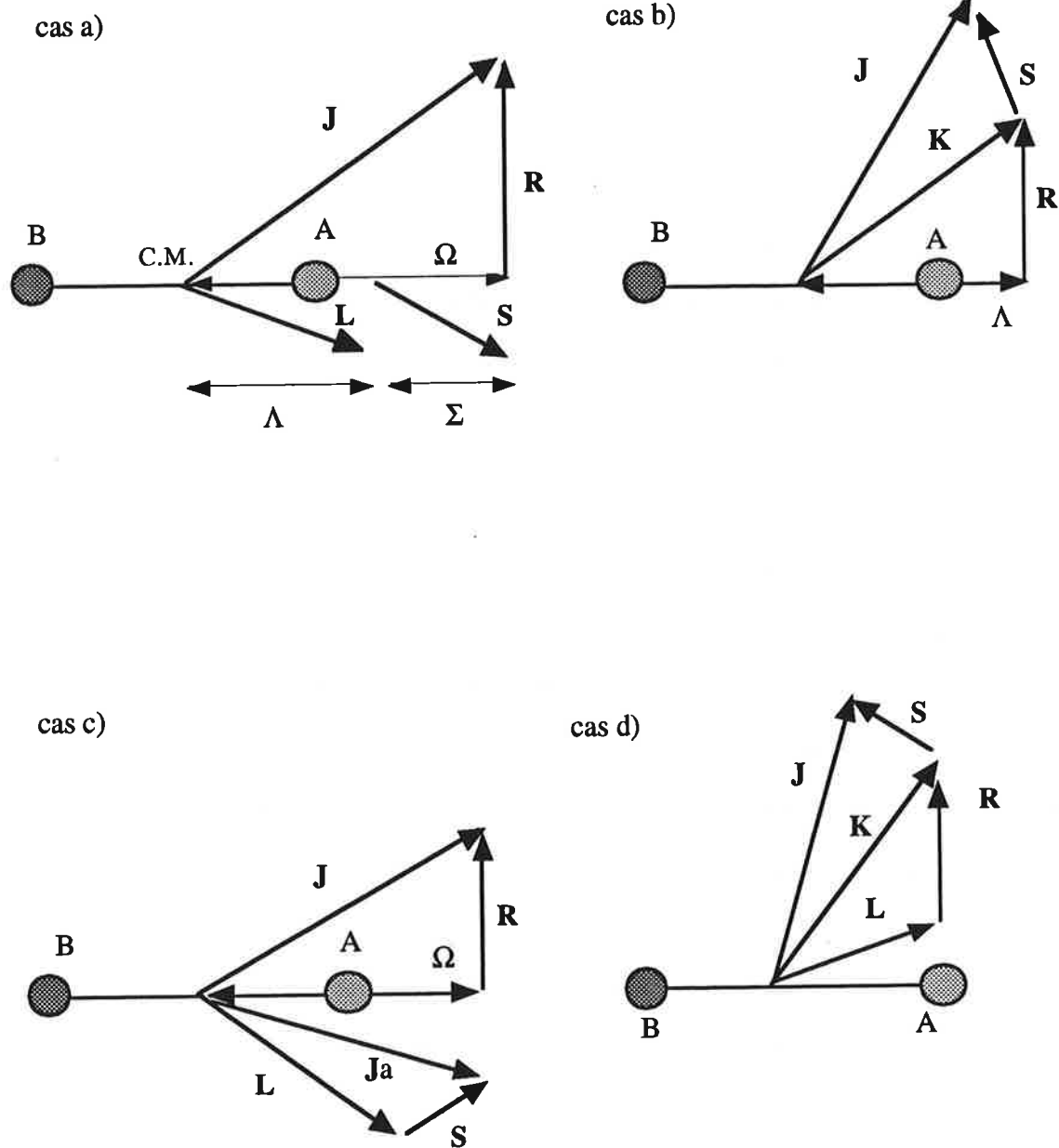


fig.VI.1. Les cas de Hund

autour de l'axe internucléaire définit la projection  $\Omega$  du moment électronique total. L'interaction du moment nucléaire de rotation  $R$  avec  $\Omega$  définit le moment cinétique total  $J$ . Les nombres quantiques  $\Lambda$  et  $\Sigma$  ne sont plus définis et la base de fonctions est  $|n J \Omega \rangle$ .

### Cas d) de Hund

Le cas d) s'applique aux molécules pour lesquelles  $\Delta E_{\text{rot}} \gg \Delta E_e \gg \Delta E_{\text{sf}}$ .

Le moment électronique orbital  $L$  est fortement couplé au moment nucléaire de rotation  $R$ . Leur résultante  $K$  est ensuite couplée au moment électronique de spin  $S$  pour former le moment cinétique total  $J$ . La base de fonctions propres est  $|K S J \rangle$ .

Le tableau IV.1 donne une brève description des quatre cas de Hund.

cas de Hund	expression de l'énergie rotationnelle	'bons' nombres quantiques, molécule sans rotation	dégénérescence molécule sans rotation
a)	$B_v J(J+1)$	$\Lambda, S, \Sigma, (\Omega = \Lambda + \Sigma)$	2 ou 1
b)	$B_v N(N+1)$	$\Lambda, S$	2 (2S+1) ou (2S+1)
c)	$B_v J(J+1)$	$\Omega$	2 ou 1
d)	$B_v R(R+1)$	$L, \Lambda, S, \Sigma$	$(2L + 1) (2S + 1)$

Tableau.IV.1

Les cas de Hund fournissent des bases de fonctions d'onde moléculaire appropriées pour bien décrire une grande majorité de molécules. Les états énergétiques électroniques correspondent souvent à des cas intermédiaires; on se rattache alors au cas de Hund le plus voisin de la situation physique de la molécule.

### IV-2 Les éléments de matrice de l'hamiltonien

Le hamiltonien total est représenté par une matrice, qui dans une base appropriée, se mettrait sous forme bloc-diagonale dans l'approximation de Born-Oppenheimer. Chaque bloc correspondrait à un niveau électronique, vibrationnel et rotationnel donné. Les

interactions entre différents mouvements des électrons et des noyaux, négligées dans l'approximation de Born-Oppenheimer, font apparaître des éléments non-diagonaux connectant des états vibrationnels ou électroniques. Ces éléments sont faibles dans les couplages a) et b) de Hund, mais restent indispensables pour l'étude correcte de la molécule. Dans le cas de la molécule BaCl, les couplages des moments cinétiques dans les états étudiés sont intermédiaires entre le cas a) et le cas b), nous opterons pour la base du cas a), les fonctions de la base sont des fonctions propres de  $J^2$ ,  $S^2$ ,  $J_z$ ,  $S_z$  et  $L_z$  et les niveaux d'énergies sont caractérisés par les nombres quantiques (n, v, J).

Le calcul des éléments de matrice de l'hamiltonien est obtenu par l'action des différents moments cinétiques sur les fonctions propres des états, définis dans la base du cas a) de Hund. Ce calcul ayant été fait par plusieurs auteurs, notamment Zare [9] et Hougen [5], nous allons donner les éléments de matrice de chaque terme de l'hamiltonien total, dans cette base du cas a), sans faire de développement mathématique.

#### Les éléments de matrice de $H_0$ :

Ces termes forment la partie la plus importante des éléments diagonaux de la matrice hamiltonienne :

$$\langle \Lambda \Sigma | H_0 | \Lambda \Sigma \rangle = T_v \quad (\text{IV-1})$$

#### Les éléments de matrice de $H_{s_0}$ :

Du point de vue énergétique, les éléments de  $H_{s_0}$  sont à considérer avant ceux dus à la rotation de la molécule.

Les éléments diagonaux lient deux états ayant les mêmes valeurs  $\Lambda$  et  $\Sigma$  ( $\Delta\Lambda = \Delta\Sigma = \Delta\Omega = 0$ ). Pour ces éléments, seule la partie  $L_z S_z$  de l'hamiltonien  $H_{s_0}$  intervient dans le calcul. Leur expression est la suivante :

$$\langle \Lambda \Sigma | L_z S_z | \Lambda \Sigma \rangle = A_v \Lambda \Sigma \quad (\text{IV-2})$$

$$\text{où : } A_v = \langle n v | A(r) | n v \rangle. \quad (\text{IV-3})$$

Les éléments non-diagonaux lient, par l'intermédiaire de la partie  $(L^+S^- + L^-S^+)$  de  $H_{so}$ , les états tels que  $\Delta\Lambda = -\Delta\Sigma = \pm 1$  et  $\Delta\Omega = \Delta S = 0$  :

$$\langle \Lambda \Sigma | \frac{A(r)}{2} (L^+S^- + L^-S^+) | \Lambda \mp 1 \Sigma \pm 1 \rangle = \langle \Lambda | \frac{A(r)}{2} L^\pm | \Lambda \pm 1 \rangle \sqrt{S(S+1) - \Sigma(\Sigma \pm 1)} \quad (\text{IV-4})$$

**Les éléments de matrice de  $H_{ss}$  :**

Les éléments diagonaux sont :

$$\langle \Lambda \Sigma | H_{ss} | \Lambda \Sigma \rangle = \epsilon_v \left[ 3 \Sigma^2 - S(S+1) \right] \quad (\text{IV-5})$$

$$\text{où : } \gamma_v = \langle n v | \gamma(r) | n v \rangle. \quad (\text{IV-6})$$

Les éléments non-diagonaux sont :

$$\langle \Lambda \Sigma | H_{ss} | \Lambda \pm 2 \Sigma \mp 2 \rangle = \frac{\alpha_v}{2} \left[ (S \mp \Sigma + 1)(S \pm \Sigma)(S \mp \Sigma + 2)(S \pm \Sigma - 1) \right]^{1/2} \quad (\text{IV-7})$$

**Les éléments de matrice de  $H_{rot}$  :**

Les éléments diagonaux représentent l'énergie de rotation :

$$\langle \Lambda \Sigma | B(r) \left\{ (J^2 - J_z^2) + (S^2 - S_z^2) \right\} | \Lambda \Sigma \rangle = B_v \left\{ J(J+1) - \Omega^2 + S(S+1) - \Sigma^2 \right\} \quad (\text{IV-8})$$

$$\text{où : } B_v = \langle n v | B(r) | n v \rangle. \quad (\text{IV-9})$$

Le terme  $B(r)[L^2 - L_z^2]$  qui provient de la décomposition de l'opérateur  $R^2$  du moment de rotation nucléaire, est indépendant de la rotation et les fonctions de base du cas a) de Hund ne sont pas fonctions propres de l'opérateur  $L^2$ . Par convention [3], le terme  $B(r) \left( L^2 - L_z^2 \right)$  est ajouté aux éléments de matrice diagonaux dus à  $H_0$ .

Les éléments non-diagonaux traduisent les interactions entre états voisins et s'obtiennent par l'action des opérateurs :

\*  $B(r) (L^+ S^- + L^- S^+)$  entre états tels que  $\Delta\Omega = \Delta S = 0$  et  $\Delta\Lambda = -\Delta\Sigma = \pm 1$  dont l'élément de matrice est :

$$\langle \Lambda \Sigma | B(r) (L^+ S^- + L^- S^+) | \Lambda \mp 1 \Sigma \pm 1 \rangle = \langle \Lambda | B(r) L^\pm | \Lambda \mp 1 \rangle \sqrt{S(S+1) - \Sigma(\Sigma \pm 1)} \quad (\text{IV-10})$$

\*  $-B(r) (J^+ S^- + J^- S^+)$  entre états pour lesquels on a  $\Delta S = \Delta\Lambda = 0$  et  $\Delta\Sigma = \Delta\Omega = \pm 1$  dont l'élément de matrice est :

$$\langle \Lambda \Sigma | -B(r) (J^+ S^- + J^- S^+) | \Lambda \Sigma \pm 1 \rangle = -B_v \sqrt{J(J+1) - \Omega(\Omega \pm 1)} \sqrt{S(S+1) - \Sigma(\Sigma \pm 1)} \quad (\text{IV-11})$$

\*  $-B(r) (J^+ L^- + J^- L^+)$  entre états pour lesquels on a  $\Delta\Omega = \Delta\Lambda = \pm 1$  et  $\Delta\Sigma = \Delta S = 0$  dont l'élément de matrice est :

$$\langle \Lambda \Omega | -B(r) (J^+ L^- + J^- L^+) | \Lambda \pm 1 \Omega \pm 1 \rangle = \langle \Lambda \pm 1 | -B(r) L^\pm | \Lambda \rangle \sqrt{J(J+1) - \Omega(\Omega \pm 1)} \quad (\text{IV-12})$$

#### Les éléments de matrice de $H_{sr}$ :

L'expression des éléments diagonaux est la suivante :

$$\langle \Lambda \Sigma | H_{sr} | \Lambda \Sigma \rangle = \gamma_v \left[ \Omega \Sigma - \Lambda \Sigma - S(S+1) \right] \quad (\text{IV-13})$$

où:  $\gamma_v = \langle n v | \gamma(r) | n v \rangle. \quad (\text{IV-14})$

Les éléments non-diagonaux s'obtiennent par l'action des opérateurs :

\*  $1/2 \gamma(r) (J^+ S^- + J^- S^+)$  entre états pour lesquels on a  $\Delta\Omega = \Delta\Sigma = \pm 1$  et  $\Delta S = \Delta\Lambda = 0$ .

L'élément de matrice correspondant est :

$$\langle \Lambda \Sigma | \frac{\gamma(r)}{2} (J^+ S^- + J^- S^+) | \Lambda \Sigma \pm 1 \rangle = \frac{\gamma_v}{2} \sqrt{J(J+1) - \Omega(\Omega \pm 1)} \sqrt{S(S+1) - \Sigma(\Sigma \pm 1)} \quad (\text{IV-15})$$

\*  $-\frac{\gamma(r)}{2} (L^+ S^- + L^- S^+)$  entre états pour lesquels on a  $\Delta\Omega = \Delta S = 0$  et  $\Delta\Lambda = -\Delta\Sigma = \pm 1$ .

L'élément de matrice correspondant est :

$$\langle \Lambda \Sigma | -\frac{\gamma(r)}{2} (L^+ S^- + L^- S^+) | \Lambda \mp 1 \Sigma \pm 1 \rangle = \langle \Lambda | -\frac{\gamma(r)}{2} L^\pm | \Lambda \mp 1 \rangle \sqrt{S(S+1) - \Sigma(\Sigma \pm 1)} \quad (\text{IV-16})$$

### IV-3 Dédoublément $\Lambda$

Un niveau rotationnel  $|\Lambda S \Sigma J M \Omega\rangle$  pourrait aussi bien être décrit par la fonction d'onde  $|\Lambda S -\Sigma J M -\Omega\rangle$ . Il y a donc une double dégénérescence du niveau, cette dégénérescence peut être vue comme la conséquence de l'indiscernabilité des états correspondant à une projection  $+\Omega$  du moment cinétique total  $J$  sur l'axe internucléaire et ceux correspondant à la projection  $-\Omega$ . L'ambiguïté de signe de  $\Omega$  vient de l'invariance de l'hamiltonien sous l'effet d'une réflexion par rapport au plan passant par l'axe internucléaire. La levée de cette dégénérescence est due à l'interaction entre états électroniques voisins et conduit à deux niveaux rotationnels  $e$  et  $f$  séparés par un écart énergétique appelé dédoublement  $\Lambda$ . Un calcul de ces interactions par la méthode des perturbations indépendantes du temps au deuxième ordre conduit aux paramètres de dédoublement  $\Lambda$  :  $o$ ,  $p$  et  $q$  [9]. Le dédoublement  $\Lambda$  a été observé dans les spectres de certaines molécules diatomiques, en particulier dans les états électroniques  $\Pi$  et  $\Delta$ .

### IV-4 Transformation de Wang

L'hamiltonien total est invariant sous l'effet d'une réflexion par rapport au plan passant par l'axe internucléaire. En d'autres termes  $H$  commute avec  $\sigma_v$  et il existe un ensemble de fonctions propres à  $H$  et à  $\sigma_v$ . La base proposée par Wang est une base de fonctions paires ou impaires par rapport à l'opérateur  $\sigma_v$ . Ces fonctions sont des combinaisons linéaires des fonctions d'onde du cas a) de Hund et sont en accord avec la convention de symétrie  $e$  et  $f$  définie par Brown et al:

$$|\Psi_{e, f}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \left\{ |\Lambda S \Sigma J M \Omega\rangle \pm |-\Lambda S -\Sigma J M -\Omega\rangle \right\} \quad (\text{IV.17})$$

$\{\Psi_{e, f}\}$  est appelée base symétrisée de Wang.

La transformation de Wang se révèle d'un grand intérêt lors des calculs des interactions. Le problème se trouve en effet simplifié car la matrice de l'hamiltonien se décompose en deux blocs, un de type ( $e$ ) et l'autre de type ( $f$ ). Ceci provient du fait que  $e$  et  $f$  traduisent la parité de l'état et, compte tenu de la commutation de  $H$  avec  $\sigma_v$ , il n'existe pas

d'éléments de matrice entre états de parité différente, seuls les éléments entre niveaux de même parité interviennent dans le calcul :

$$\langle \Psi_e | H | \Psi_e \rangle \neq 0 \quad (\text{IV-18})$$

$$\langle \Psi_e | H | \Psi_f \rangle = 0. \quad (\text{IV-19})$$

#### IV-5 Distorsion centrifuge

La dépendance radiale des termes de l'hamiltonien  $H_{\text{rot}}$  et  $H_{\text{sf}}$  induit des interactions entre niveaux vibrationnels voisins d'un même état électronique. Les contributions les plus importantes sont dues à  $H_{\text{s-o}}$  et  $H_{\text{rot}}$ , tandis que les contributions dues à  $H_{\text{s-s}}$  et  $H_{\text{s-rot}}$  sont faibles. Le traitement de ces interactions se fait en utilisant la théorie des perturbations indépendante du temps (Van Vleck) [9]. Nous allons donner les éléments de matrice perturbatifs sans faire les démonstrations.

L'élément de matrice représentant la perturbation au deuxième ordre, due à  $H_{\text{rot}}$ , s'écrit sous la forme:

$$H_{ij}^{(2)} = -D_v \langle \Omega_i \Sigma_i | \vec{R}^4 | \Omega_j \Sigma_j \rangle \quad (\text{IV-20})$$

où  $D_v$  est la constante de distorsion centrifuge du premier ordre.

Au troisième ordre, l'élément de matrice s'écrit [9]:

$$H_{ij}^{(3)} = H_v \langle \Omega_i \Sigma_i | \vec{R}^6 | \Omega_j \Sigma_j \rangle \quad (\text{IV-21})$$

où  $H_v$  est la constante de distorsion centrifuge du deuxième ordre.

L'étude de la distorsion centrifuge due à  $H_{\text{rot}}$  par la méthode des perturbations revient à remplacer l'hamiltonien de rotation par l'hamiltonien effectif de rotation :

$$H_{\text{rot}}^{\text{eff}} = B_v \vec{R}^2 - D_v \vec{R}^4 + H_v \vec{R}^6. \quad (\text{IV-22})$$

En fait, un traitement plus correct de la distorsion centrifuge doit prendre en compte simultanément les deux hamiltoniens  $H_{\text{s-o}}$  et  $H_{\text{rot}}$ . Le calcul de perturbation au troisième ordre en  $H_{\text{rot}} + H_{\text{s-o}}$  conduit aux éléments de matrice suivants [9]:



$$\begin{aligned}
 \langle \Lambda \Sigma | H_{\text{rot}} + H_{s_0} | \Lambda \Sigma \rangle = & -D_v [ f_1^2(\Omega, \Sigma) + f_2(\Omega, \Sigma) + f_3(\Omega, \Sigma) ] \\
 & + H_v \{ f_1^3(\Omega, \Sigma) + 2 f_1(\Omega, \Sigma) [ f_2(\Omega, \Sigma) + f_3(\Omega, \Sigma) ] + \\
 & + f_1(\Omega+1, \Sigma+1) f_2(\Omega, \Sigma) + f_1(\Omega-1, \Sigma-1) f_3(\Omega, \Sigma) \} \\
 & + a_{D_v} \Lambda^2 \Sigma^2 + A_{D_v} \Lambda \Sigma f_1(\Omega, \Sigma)
 \end{aligned} \tag{IV-23}$$

$$\begin{aligned}
 \langle \Lambda \Sigma | H_{\text{rot}} + H_{s_0} | \Lambda \Sigma \pm 1 \rangle = & -D_v f_4(\Omega, \Sigma) [ f_1(\Omega, \Sigma) + f_1(\Omega \pm 1, \Sigma \pm 1) ] \\
 & + H_v f_4(\Omega, \Sigma) \{ f_1^2(\Omega, \Sigma) + f_1(\Omega, \Sigma) f_1(\Omega \pm 1, \Sigma \pm 1) \\
 & + f_1^2(\Omega \pm 1, \Sigma \pm 1) + f_4^2(\Omega \pm 1, \Sigma \pm 1) [ 1 + f_4^2(\Omega, \Sigma) ] \} \\
 & + A_{D_v} \Lambda (\Sigma \pm \frac{1}{2}) f_4(\Omega, \Sigma)
 \end{aligned} \tag{IV-24}$$

$$\begin{aligned}
 \langle \Lambda \Sigma | H_{\text{rot}} + H_{s_0} | \Lambda \Sigma \pm 2 \rangle = & -D_v f_4(\Omega, \Sigma) f_4(\Omega \pm 1, \Sigma \pm 1) \\
 & + H_v f_4(\Omega, \Sigma) f_4(\Omega \pm 1, \Sigma \pm 1) [ f_1(\Omega, \Sigma) \\
 & + f_1(\Omega \pm 1, \Sigma \pm 1) + f_1(\Omega \pm 2, \Sigma \pm 2) ]
 \end{aligned} \tag{IV-25}$$

$$\langle \Lambda \Sigma | H_{\text{rot}} + H_{s_0} | \Lambda \Sigma \pm 3 \rangle = H_v f_4(\Omega, \Sigma) f_4(\Omega \pm 1, \Sigma \pm 1) f_4(\Omega \pm 2, \Sigma \pm 2) \tag{IV-26}$$

où  $a_{D_v}$  et  $A_{D_v}$  sont les paramètres de distorsion centrifuge

et  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$  et  $f_4$  sont des fonctions de nombres quantiques définies de la façon suivante:

$$f_1(\Omega, \Sigma) = J(J+1) - \Omega^2 + S(S+1) - \Sigma^2 \tag{IV-27}$$

$$f_2(\Omega, \Sigma) = \{ J(J+1) - \Omega(\Omega+1) \} \{ S(S+1) - \Sigma(\Sigma+1) \} \tag{IV-28}$$

$$f_3(\Omega, \Sigma) = \{ J(J+1) - \Omega(\Omega-1) \} \{ S(S+1) - \Sigma(\Sigma-1) \} \tag{IV-29}$$

$$f_4(\Omega, \Sigma) = \sqrt{J(J+1) - \Omega(\Omega \pm 1)} \sqrt{S(S+1) - \Sigma(\Sigma \pm 1)} \tag{IV-30}$$

En appliquant les notions développées dans ce paragraphe, on construit la matrice de l'hamiltonien de BaCl dans les états  $^2\Pi$  et  $^2\Delta$ . Les tableaux IV-1 et IV.2 représentent ces deux matrices.

	${}^2\Pi_{3/2}$	${}^2\Pi_{1/2}$
${}^2\Pi_{3/2}$	$T_{\Pi} + A_{\Pi}/2 + (B_{\Pi} + A_{J\Pi})(X - 1)$ $- D_{\Pi} ((X - 1)^2 + X)$ $+ H_{\Pi} ((X - 1)^3 + X(3X - 1))$ $+ A_{J\Pi}/2(3(X - 1)^2 + X) + q_{\Pi}X/2$	$- B_{\Pi}X^{1/2} + 2D_{\Pi}X^{3/2}$ $- H_{\Pi}(3X^2 + X + 1)X^{1/2} + A_{J\Pi}X^{1/2}$ $- q_{\Pi}/2(X^{1/2} \pm X + 1)^{1/2}$ $- p_{\Pi}X^{1/2}/4$
${}^2\Pi_{1/2}$	sym	$T_{\Pi} - A_{\Pi}/2 + (B_{\Pi} - A_{J\Pi})(X + 1)$ $- D_{\Pi} ((X + 1)^2 + X)$ $+ H_{\Pi} ((X + 1)^3 + X(3X + 1))$ $+ A_{J\Pi}/2(3(X + 1)^2 + X)$ $+ q_{\Pi}/2(X + 2 \pm 2(X + 1)^{1/2})$ $+ p_{\Pi}/2(1 \pm (X + 1)^{1/2})$

Tableau V.1 : Matrice symétrique de l'hamiltonien total pour l'état électronique A  ${}^2\Pi$

$$X = (J + 1/2)^2 - 1$$

	${}^2\Delta_{5/2}$	${}^2\Delta_{3/2}$
${}^2\Delta_{5/2}$	$T_{\Delta} + A_{\Delta} + (B_{\Delta} + 2A_{J\Delta})(X - 2)$ $- D_{\Delta} ((X - 2)^2 + X)$ $+ H_{\Delta} ((X - 2)^3 + X(3X - 2))$ $+ A_{J\Delta}/2(3(X - 2)^2 + X)$	$- B_{\Delta}X^{1/2} + 2D_{\Delta}X^{3/2}$ $- H_{\Delta}(3X^2 + X + 4)X^{1/2}$ $+ 4A_{J\Delta}X^{1/2}$
${}^2\Delta_{3/2}$	sym	$T_{\Delta} - A_{\Delta} + (B_{\Delta} - 2A_{J\Delta})(X + 2)$ $- D_{\Delta} ((X + 2)^2 + X)$ $+ H_{\Delta} ((X + 2)^3 + X(3X + 2))$ $+ A_{J\Delta}/2(3(X + 2)^2 + X)$

Tableau V.2 : Matrice symétrique de l'hamiltonien total pour l'état électronique A'  ${}^2\Delta$

$$X = (J + 1/2)^2 - 4$$

Les signes  $\pm$  correspondent respectivement aux niveaux rotationnels e et f.

## V- Représentation polynomiale des termes d'énergie

Dans l'approximation de Born-Oppenheimer, les niveaux d'énergie ro-vibrationnels d'une molécule peuvent être représentés par des développements polynomiaux de la forme suivante [10] :

$$T_{v,J} = T_e + G(v) + F_v(J) \quad (V-1)$$

avec  $G(v) = \omega_e(v + 1/2) - \omega_e x_e(v + 1/2)^2 + \omega_e y_e(v + 1/2)^3 + \dots$  (V-2)

$$F_v(J) = B_v J(J + 1) - D_v J^2 (J + 1)^2 + H_v J^3 (J + 1)^3 + \dots \quad (V-3)$$

Pour un niveau vibrationnel donné, les constantes  $B_v, D_v, H_v, \dots$  sont elles aussi représentées par des polynômes :

\*  $B_v = B_e - \alpha_b (v + 1/2) + \beta_b (v + 1/2)^2 + \dots$  (V-4)

où  $B_e = h / (8 \pi^2 c \mu r_e^2)$ ,  $r_e$  étant la distance entre les noyaux à l'équilibre.

\*  $D_v = D_e + \alpha_d (v + 1/2) + \beta_d (v + 1/2)^2 + \dots$  (V-5)

\*  $H_v = H_e + \alpha_h (v + 1/2) + \beta_h (v + 1/2)^2 + \dots$  (V-6)

Les niveaux ro-vibrationnels peuvent être décrits par les coefficients dits de Dunham [11]. Cette description se distingue par sa simplicité et s'obtient en utilisant la méthode WKB [12] et en développant le potentiel classique au voisinage de son minimum. L'énergie de rotation-vibration s'écrit alors sous la forme :

$$T_{v,J} = \sum_{l,m} Y_{lm} (v + 1/2)^l (J(J + 1))^m \quad (V-7)$$

où les  $Y_{lm}$  sont les coefficients de Dunham :

$$Y_{10} = \omega_e, Y_{20} = \omega_e x_e, Y_{01} = B_e, Y_{02} = -D_e, \dots$$

Il existe des approximations qui sont souvent très utiles pour obtenir des paramètres initiaux convenables :

Formule de Kratzer  $D_e \approx 4 B_e^3 / \omega_e^2$  (V-8)

Formule de Pékéris  $\alpha_b \approx 6 [(\omega_e x_e B_e^3)^{1/2} - B_e] / \omega_e$  (V-9)

Formule de Birge  $H_e \approx 2 D_e (12 B_e^2 - \alpha_b \omega_e) / 3 \omega_e^2$  (V-10)

## VI- Effet isotopique

L'atome de chlore possède deux isotopes stables dont l'abondance naturelle est : 2/3 de  $^{35}\text{Cl}$  et 1/3 de  $^{37}\text{Cl}$ . Par conséquent la molécule de  $\text{BaCl}$  existe sous les deux formes  $^{138}\text{Ba}^{35}\text{Cl}$  /et  $^{138}\text{Ba}^{37}\text{Cl}$  si l'on ne considère pas les isotopes du Baryum. Nous allons donc rappeler les relations qui existent entre les paramètres moléculaires de ces variétés [10].

On définit le facteur isotopique  $\rho$  par le rapport :

$$\rho = (\mu / \mu_i)^{1/2} \quad (\text{VI-1})$$

où  $\mu_i$  est la masse réduite de l'isotope le moins abondant et  $\mu$  est la masse réduite de l'isotope le plus abondant.

Dans l'approximation de l'oscillateur harmonique, la constante vibrationnelle de l'isotope  $i$  s'écrit :

$$\omega_e^i = \rho \omega_e \quad (\text{VI-2})$$

Dans le cas, plus général, de l'oscillateur anharmonique, on démontre les relations suivantes :

$$\omega_e x_e^i = \rho^2 \omega_e x_e \quad (\text{VI-3})$$

$$\omega_e y_e^i = \rho^3 \omega_e y_e \quad \dots \quad (\text{VI-4})$$

De même pour les constantes rotationnelles  $B_e$  et  $D_e$ , on obtient :

$$B_e^i = \rho^2 B_e \quad (\text{VI-5})$$

$$D_e^i = \rho^4 D_e \quad (\text{VI-6})$$

D'après les expressions [(V-4) et (V-5)] de  $B_v$  et  $D_v$ , il vient aussi:

$$\alpha_b^i = \rho^3 \alpha_b \quad (\text{VI-7})$$

$$\alpha_d^i = \rho^5 \alpha_d \quad (\text{VI-8})$$

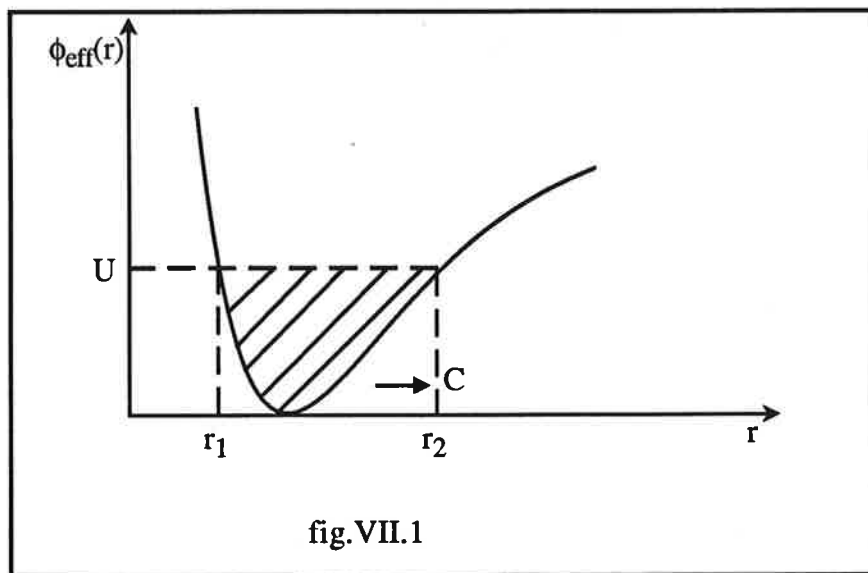
$$\beta_b^i = \rho^4 \beta_b \quad \dots \quad (\text{VI-9})$$

Dans une représentation de Dunham (V-7), les coefficients  $Y_{lm}$  de l'isotope sont donnés par:

$$Y_{lm}^i = \rho^{(1+2m)} Y_{lm}. \quad (\text{VI-10})$$

## VIII-Courbes de potentiel

La méthode 'R.K.R' a été développée par Rydberg, Klein et Rees [13] pour calculer l'énergie potentielle et sa variation avec la distance internucléaire dans un état électronique. Fondée sur des principes semi-classiques, elle fournit les valeurs de l'énergie et les points tournants de la courbe d'énergie potentielle à partir des paramètres vibrationnels et rotationnels obtenus par une réduction de type Dunham des données spectroscopiques. La méthode a ses origines dans la condition de quantification de Bohr-Sommerfeld.



Les deux conditions nécessaires pour évaluer les points tournants  $r_1$  et  $r_2$  du mouvement de vibration pour une énergie  $U$  donnée peuvent être exprimées en fonction de l'aire entre une ligne d'énergie constante et la courbe de potentiel effectif (fig.VII.1).

Nous pouvons écrire que cette aire est égale à :

$$A = \int_{r_1}^{r_2} (U - \phi_{\text{eff}}) dr \quad (\text{VIII-1})$$

où  $\phi_{\text{eff}} = \phi(r) + K / r^2$  ( $K / r^2$  est l'énergie rotationnelle).

Nous pouvons encore vérifier aussi que [14] :

$$\left(\frac{\partial A}{\partial U}\right)_K = \int_{r_1}^{r_2} dr = r_2 - r_1 \quad (\text{VIII-2})$$

$$\left(\frac{\partial A}{\partial K}\right)_U = - \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \quad (\text{VIII-3})$$

U et K sont liés aux énergies vibrationnelles et rotationnelles, il reste donc à écrire A en fonction de l'énergie. En utilisant les intégrales eulériennes du premier ordre, on a une nouvelle expression de U -  $\phi_{\text{eff}}$ :

$$U - \phi_{\text{eff}} = \frac{2}{\pi} \int_{\phi_{\text{eff}}}^U \left[ \frac{U - E}{E - \phi_{\text{eff}}} \right]^{1/2} dE \quad (\text{VIII-4})$$

L'intégrale exprimant l'aire se transforme alors en :

$$A = \frac{2}{\pi} \int_{r_1}^{r_2} \int_{\phi_{\text{eff}}}^U \left[ \frac{U - E}{E - \phi_{\text{eff}}} \right]^{1/2} dE dr = \frac{2}{\pi} \int_{U_0}^U (U - E)^{1/2} \oint \frac{dr}{(E - \phi_{\text{eff}})^{1/2}} dE \quad (\text{VIII-5})$$

$U_0$  correspond au point où la valeur de  $\phi_{\text{eff}}$  est minimale (le creux de la courbe de potentiel) et l'intégrale fermée est évaluée le long du contour C (fig.VII.1)

A partir de l'intégrale de phase I :

$$I = \oint p dq = \sqrt{2\mu} \oint (E - \phi_{\text{eff}})^{1/2} dr \quad (\text{VIII-6})$$

on obtient :

$$\frac{dI}{dE} = \left(\frac{\mu}{2}\right)^{1/2} \oint (E - \phi_{\text{eff}})^{-1/2} dr. \quad (\text{VIII-7})$$

On remplace (VIII-7) dans (VIII-5), on obtient :

$$A = \left(\frac{2\mu}{\pi^2}\right)^{1/2} \int_{U_0}^U (U - E)^{1/2} \frac{dI}{dE} dE = \left(\frac{2\mu}{\pi^2}\right)^{1/2} \int_0^I (U - E)^{1/2} dI \quad (\text{VIII-8})$$

où  $E = E(I, K)$  et  $I'$  est la valeur de la phase pour laquelle  $E = U$ .

Les règles quantiques de Bohr-Sommerfeld identifient  $I$  avec  $(v+1/2)$  et  $K$  avec  $J(J+1)$ . Cette expression de  $A$  correspond donc aux formules de Dunham, où l'énergie est exprimée sous forme d'un développement en  $J(J+1)$  et en  $v(v+1/2)$ .

La variation de  $A$  avec  $U$  donne la différence entre les points tournants  $(r_1 - r_2)$  et la variation de  $A$  avec  $\phi_{\text{eff}}$ , c'est-à-dire  $K$ , donne la différence inverse des points tournants,  $(1/r_1 - 1/r_2)$ .

## Références du chapitre II

- [1] C. Cohen-Tannoudji, B. Diu, F. Laloë, "Mécanique Quantique I" (Hermann, Editeurs des Sciences et des Arts, Paris, 1977).
- [2] A. Beswick, "La molécule diatomique" (Cours de D. E. A., Orsay, 1991).
- [3] H. Lefebvre-Brion, "Perturbations in the Spectra of Diatomic Molecules" (Academic Press, Inc. London, 1986).
- [4] J. M. Brown, J. T. Hougen, K. P. Huber, J.W.C. Johns, I. Kopp, H. Lefebvre-Brion, A. J. Merer, D. A. Ramay, J. Rostas R. N. Zare, J. Mol. Spectrosc. 55, (1975) 500.
- [5] J. T. Hougen, Nat. Bur. Stand., Monograph, 115 (1970).
- [6] R. P. Fontana, Phys. Rev., 125 (1962) 220.
- [7] K. Kayama, J. Chem. Phys., 42 (1965) 622.
- [8] L. Veseth, J. Phys. B, 4 (1971) 20.
- [9] R. N. Zare, A. L. Schmeltekopf, W. J. Harrop, D. L. Albritton, J. Mol. Spectrosc., 46 (1973) 66.
- [10] G. Herzberg, "Molecular Spectra and Molecular Structure, I : Spectra of Diatomic Molecules" (Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1950).
- [11] G. Verhaegen, "Structure électronique des molécules diatomiques" (G. E. S. E. M., Paris, 1969).
- [12] J.L. Dunham, Phys. Rev., 41 (1932) 713.
- [13] R. Rydberg, Z. Physik, 73 (1931) 376; 80 (1933) 514, O. Klein, Z.Physik, 76 (1932) 226; A. .L. G. Rees, Proc. Roy. Soc. (London) 95 (1947) 998.
- [14] C. Fellows, thèse de doctorat , Orsay, 1991.







## Chapitre III

# ETUDE SPECTROSCOPIQUE DE LA MOLECULE BaCl

## I- Introduction

## II- Enregistrement des spectres

## III- Traitement des spectres

### III-1 Protocole d'enregistrement des spectres et attributions des séries

#### III-1.1 Protocole

#### III-1.2 Attributions des nombres quantiques

### III-2 Traitement numérique

#### III-2.1 Méthode d'approche directe

#### III-2.2 Traitement global

## IV- Caractérisation de l'état fondamental X $2\Sigma^+$

### IV-1 Système C $2\Pi$ - X $2\Sigma$

#### IV-1.1 Description des spectres

#### IV-1.2 Identification des raies.

### IV-2 Système B $2\Sigma$ - X $2\Sigma$

#### IV-2.1 Description des spectres

#### IV-2.2 Identification des raies.

#### IV-2.3 Affinement de fluorescence par laser

### IV-3 Résultats et analyse

### IV-4 Conclusion

## V- Caractérisation de l'état C $2\Pi$

### V-1 Système E $2\Sigma$ - C $2\Pi$

#### V-1.1 Description des spectres

#### V-1.2 Identification des raies.

#### V-1.3 Dédoublément $\Lambda$ dans l'état C $2\Pi$

V-2 Système F  $2\Sigma$  - C  $2\Pi$

V-2.1 Description des spectres

V-2.2 Identification des raies

V-3 Résultats et analyse

V-4 Conclusion

**VI- Caractérisation des états A'  $2\Delta$ , A  $2\Pi$  et B  $2\Sigma$**

VI-1 Caractérisation de l'état A'  $2\Delta$  : système C  $2\Pi$  - A'  $2\Delta$

VI-1.1 Description des spectres

VI-1.2 Identification des raies

VI-1.3 Résultats et analyse

VI-2 Caractérisation de l'état A  $2\Pi$  : systèmes C  $2\Pi$  - A  $2\Pi$  et F  $2\Sigma$  - A  $2\Pi$

VI-2.1 Description des spectres

VI-2.2 Identification des raies

VI-2.3 Résultats et analyse

VI-3 Caractérisation de l'état B  $2\Sigma$  : systèmes C  $2\Pi$  - B  $2\Sigma$  et F  $2\Sigma$  - B  $2\Sigma$

VI-3.1 Description des spectres

VI-3.2 Identification des raies

VI-3.3 Résultats et analyse

**VII- Traitement global de tous les nombres d'ondes - Résultats**

**VIII- Conclusion**

## I- Introduction

L'introduction est consacrée à un résumé des études spectroscopiques antérieures réalisées sur la molécule BaCl et aux motivations du présent travail. Les conditions d'enregistrement des spectres, la méthode d'attribution et de classement des séries de fluorescence puis celle du traitement numérique des nombres d'ondes expérimentaux sont présentées dans les deux paragraphes suivants. Enfin les quatre derniers paragraphes sont consacrés à l'étude de chacun des états électroniques, étude réalisée à travers celle de dix systèmes électroniques.

La molécule de BaCl fait partie de la famille des halogénures d'alcalino-terreux. Ce sont des molécules de type MX où M est un métal (Ca, Sr, Ba, ...) et X un halogène (F, Cl, Br, I). Les études expérimentales et théoriques concernant ces molécules se sont multipliées ces quinze dernières années. Elles portaient sur la structure électronique des premiers états excités.

Sur le plan théorique, des calculs ont été faits en considérant les molécules MX comme des systèmes ioniques. Deux modèles ont été développés : le modèle du champ liant [1] et le modèle de polarisation électrostatique [2]. Cependant l'imprécision de la nature de la liaison chimique a eu pour conséquence des prévisions théoriques contradictoires. Ce point sera discuté au chapitre IV.

Sur le plan expérimental, les premières observations du spectre de la molécule BaCl dans l'infrarouge ont été faites en 1946 par Barrow [3]. Ce n'est qu'en 1982 qu'une analyse détaillée des quatre premiers niveaux vibrationnels de l'état fondamental a été effectuée [4]. Avec le développement des techniques d'analyse, en particulier, la technique de la fluorescence induite par laser associée à la spectrométrie par transformation de Fourier, de nouvelles transitions électroniques ont pu être observées et les principales recherches ont été effectuées à Stockholm par le groupe du professeur Klyning. C'est ainsi que la composante de structure fine  $A' \ ^2\Delta_{5/2}$  de l'état métastable  $A' \ ^2\Delta$  a été caractérisée par Martin et Royen [5]. Pagès *et al.* [6] ont étudié le système  $C \ ^2\Pi - X \ ^2\Sigma$  en analysant la fluorescence induite par laser à l'aide d'un spectromètre à réseau. Le système  $B \ ^2\Sigma - X \ ^2\Sigma$  a été observé en

absorption par Gustavsson et Martin [7] en utilisant la spectroscopie de transformation de Fourier et l'excitation par des lasers à diode. L'analyse rotationnelle du système  $A^2\Pi - X^2\Sigma$  a permis à Gustafsson *et al.*[8] d'étudier l'interaction entre les états  $A^2\Pi$  et  $B^2\Sigma$ . En utilisant la technique d'absorption à deux photons, Gustavsson *et al.*[9] ont analysé les premiers niveaux vibrationnels de l'état  $F^2\Sigma$ . Par la même technique, Gustafsson *et al.*[10] ont caractérisé l'état  $G^2\Pi$ . Launila *et al.*[11] ont récemment analysé les systèmes  $E^2\Pi - X^2\Sigma$  et  $D^2\Sigma - X^2\Sigma$ . Enfin une analyse de l'état  $G^2\Sigma$  a été faite par Ludwigs *et al.*[12].

Ces recherches antérieures se limitaient à l'observation de un, ou de quelques, niveaux vibrationnels avec une précision spectroscopique souvent limitée. Notre étude est une large extension de ces travaux grâce à des données expérimentales précises et une analyse détaillée de la structure des sept états électroniques  $X^2\Sigma$ ,  $A'^2\Delta$ ,  $A^2\Pi$ ,  $B^2\Sigma$ ,  $C^2\Pi$ ,  $E^2\Sigma$  et  $F^2\Sigma$ . En effet, une analyse rotationnelle et vibrationnelle très étendue est souhaitable pour déterminer avec précision les paramètres moléculaires. Dans ce but, nous avons entrepris l'étude systématique du spectre de la molécule BaCl en utilisant la méthode de la fluorescence induite par laser associée à la spectrométrie par transformation de Fourier. Cette technique s'est révélée efficace car elle permet d'associer une grande résolution spectrale et une excitation sélective (cf.chap.I). Nous avons donc cherché à obtenir des distributions rotationnelles et vibrationnelles pour les niveaux étudiés qui s'étendent sur un large domaine spectral et nous avons utilisé des systèmes d'excitation capables de peupler des niveaux rotationnels et vibrationnels d'énergies élevées. Cette étude a permis d'obtenir des informations nombreuses et précises, pour les sept états électroniques de plus basse énergie sur lesquels les données expérimentales étaient soit inexistantes, soit incomplètes. Nous avons pu observer dix transitions électroniques dont trois pour la première fois :  $C^2\Pi - A^2\Pi$ ,  $E^2\Sigma - C^2\Pi$  et  $C^2\Pi - B^2\Sigma$ . Nous avons étudié les états électroniques de l'état fondamental  $X^2\Sigma$  jusqu'à l'état  $F^2\Sigma$ . Dans chaque état électronique, les niveaux vibrationnels ont été explorés jusqu'à  $v = 20$ , à l'exception de l'état  $F^2\Sigma$  où seuls les trois premiers niveaux ont été observés.

## II- Enregistrement des spectres

Le dispositif expérimental utilisé a été décrit dans le premier chapitre. Les lasers à Krypton ionisé, à Argon ionisé et un laser Saphir Titane ont été utilisés successivement pour l'obtention des spectres. Dans le tableau II.1 sont reportées les caractéristiques spectrales : fréquence, nombre d'ondes et puissance des radiations émises par les lasers. L'enregistrement d'un spectre nécessite en moyenne trois à quatre heures. Plus de cinquante spectres ont été enregistrés. Il est nécessaire que la radiation émise par le laser reste stable en intensité et en fréquence pendant ce temps; on doit en effet exciter les mêmes niveaux d'énergie d'où la stabilité en fréquence. D'autre part, les fluctuations en intensité introduisent du bruit dans le spectre.

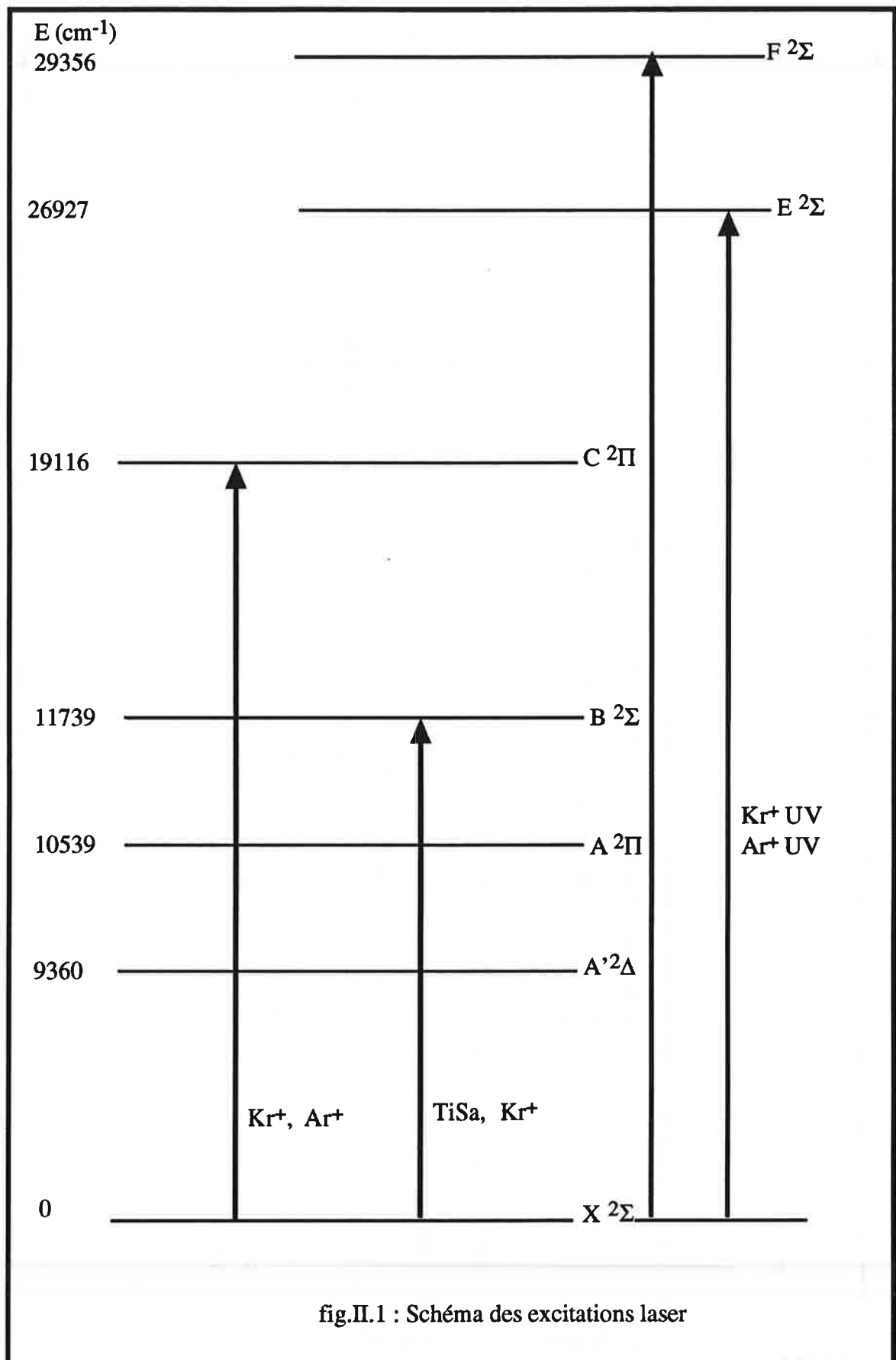
La fluorescence a été enregistrée entre 3500 et 25000  $\text{cm}^{-1}$  avec une limite de résolution comprise entre 0.01  $\text{cm}^{-1}$  et 0.05  $\text{cm}^{-1}$  suivant les enregistrements. Les incertitudes absolues des mesures des nombres d'ondes sont de l'ordre de  $3.10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ .

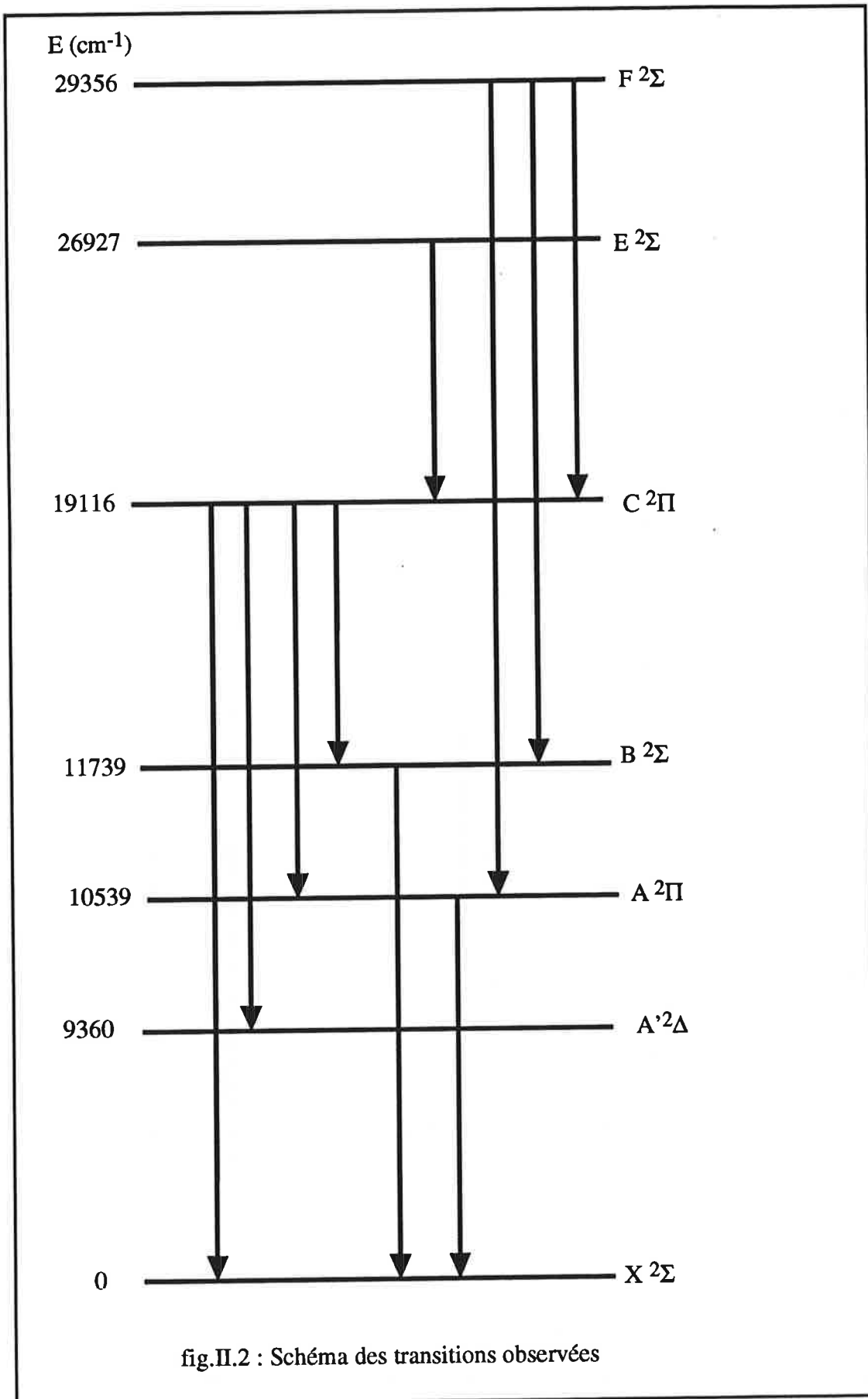
Les états excités par les différents lasers sont donnés dans la figure (fig.II.1) et les transitions de fluorescence observées sont représentées sur la figure (fig.II.2)

<b>Krypton ionisé</b>			<b>Argon ionisé</b>		
$\lambda$ (nm)	$\sigma$ (cm <sup>-1</sup> )	P (watt)	$\lambda$ (Å)	$\sigma$ (cm <sup>-1</sup> )	P (watt)
799.3	12507.16	0.3	5287	18909.49	1.0
530.9	18831.94	1.5	5145	19429.79	0.8
520.8	19194.73	0.7	5017	19926.06	1.55
406.7	24578.97	0.9	3514	28448.04	1.1
356.4	28048.54	0.5	3358	29766.76	2.6
350.7	28502.83	1.0	3344	29889.31	2.8
337.5	29621.47	0.2	3336	29966.26	2.6
			3638	27480.63	1.1
<b>SaTi</b>					
$\lambda$ (nm)	$\sigma$ (cm <sup>-1</sup> )		P (watt)		
791.27	12637.889		2		
791.251	12638.20		2.25		
804.960	12422.972		2.1		
813.859	12287.138		2		
829.808	12050.978		1.8		
845.897	11821.761		0.7		
782.533	12779.008		2.25		
777.743	12857.71		2.1		
772.516	12944.70		2		
766.929	13039.14		1.8		

Tableau II.1: Longueurs d'ondes des radiations utilisées.







### III- Traitement des spectres

Les nombres d'ondes obtenus expérimentalement par les analyses des spectres fournissent des informations sur les propriétés et les structures des divers états électroniques de la molécule. Dans ce paragraphe, nous présenterons le protocole d'enregistrement des spectres et la méthode utilisée tout au long de ce travail pour l'attribution des nombres quantiques rotationnels et vibrationnels des niveaux supérieurs et inférieurs des transitions observées. Après un rappel de la méthode du traitement numérique de ces nombres d'ondes, nous justifions notre choix final du traitement global.

#### III-1 Protocole d'enregistrement des spectres et attributions des séries

##### III-1.1 Protocole

La caractérisation des états moléculaires doit se faire en partant de l'état inférieur excité par les raies lasers c'est-à-dire l'état électronique fondamental. Cette étape constitue un point de départ pour entreprendre l'étude des fluorescences vers les états intermédiaires. Compte tenu des résultats des travaux antérieurs sur la molécule BaCl, il nous a semblé logique de procéder selon le protocole donné ci-dessous :

\* Enregistrement des spectres de la transition  $C\ ^2\Pi - X\ ^2\Sigma$ , d'une part pour vérifier les anciennes mesures et corriger éventuellement les attributions et, d'autre part, pour obtenir un jeu de constantes satisfaisant pour les premiers niveaux vibrationnels (jusqu'à  $v = 10$ ) de l'état  $X\ ^2\Sigma$ . Cependant les spectres de cette transition sont relativement complexes et se trouvent dans la région du spectre visible où la largeur des raies enregistrées ne peut être diminuée à cause de l'effet Doppler. Pour éviter ces limitations fondamentales et élargir l'éventail observé des niveaux vibrationnels de l'état fondamental, nous avons enregistré les spectres de la transition  $B\ ^2\Sigma - X\ ^2\Sigma$ . Elle apparaît dans l'infrarouge proche où l'effet Doppler, proportionnel au nombre d'ondes, est plus faible. Nous avons utilisé un laser Saphir Titane monomode et stabilisé en fréquences. La radiation qu'il émet est puissante et sa largeur spectrale plus fine que celles des lasers à longueurs d'ondes fixes à  $Ar^+$  ou  $Kr^+$ .

\* Excitation d'états électroniques d'énergie élevée à l'aide de radiations ultraviolettes. Cela a permis d'observer les transitions  $E \ ^2\Sigma - C \ ^2\Pi$ ,  $F \ ^2\Sigma - C \ ^2\Pi$ ,  $F \ ^2\Sigma - B \ ^2\Sigma$  et  $F \ ^2\Sigma - A \ ^2\Pi$ . L'étude de toutes ces transitions conduit à une amélioration notable de la connaissance de l'état  $C \ ^2\Pi$ , ainsi que celle des états  $B \ ^2\Sigma$  et  $A \ ^2\Pi$ . En effet lorsqu'on excite avec les raies des lasers  $Ar^+$  ou  $Kr^+$ , on ne peuple qu'une des composantes spin-orbite,  $C \ ^2\Pi_{1/2}$  avec les faibles longueurs d'onde du laser à Krypton ionisé et  $C \ ^2\Pi_{3/2}$  avec les grandes longueurs d'onde du laser à Argon ionisé; les états vibrationnels étant d'ailleurs différents dans les deux cas. La constante spin-orbite et ses variations vibro-rotationnelles sont en conséquence mal définies. Au contraire, lorsque l'état  $E \ ^2\Sigma$  est excité, on observe simultanément les transitions  $E \ ^2\Sigma - C \ ^2\Pi_{1/2}$  et  $E \ ^2\Sigma - C \ ^2\Pi_{3/2}$ . Cela a permis d'améliorer de façon très significative (nombre de niveaux vibrationnels et rotationnels, dédoublement  $\Lambda$ ,...) la connaissance antérieure de l'état  $C \ ^2\Pi$ .

\* Enregistrement des transitions "intermédiaires"  $C \ ^2\Pi - A \ ^2\Pi$ ,  $C \ ^2\Pi - B \ ^2\Sigma$ ,  $C \ ^2\Pi - A' \ ^2\Delta$  et  $A \ ^2\Pi - X \ ^2\Sigma$ . Cette étude a permis de caractériser pour la première fois les deux composantes de spin-orbite de l'état  $A' \ ^2\Delta$  [13] et d'avoir un jeu de "bonnes" constantes moléculaires des états  $B \ ^2\Sigma$ ,  $A \ ^2\Pi$  et  $A' \ ^2\Delta$ .

### III-1.2 Attribution des nombres quantiques

Un spectre de fluorescence est constitué par les transitions entre les niveaux de rotation de l'état supérieur excité par le laser et les niveaux de rotation de l'état inférieur de la transition : l'état fondamental ou un état d'énergie intermédiaire. Pour des états électroniques doublets, les règles de sélection (cf.chap.II) conduisent à deux raies (P, R) ou trois raies (P, Q, R) par bande. Le spectre se présente donc sous forme d'une série de doublets ou de triplets suivant que  $\Delta\Lambda = 0$  ou  $\pm 1$ . Les grandeurs suivantes sont mesurables sur les spectres:

\* l'écart  $\Delta_2F''(J)$  entre les composantes d'un doublet ou entre les raies P et R pour un triplet :  $\Delta_2F''(J) = R(J-1) - P(J+1)$

\* les écarts  $\Delta G''(v, v+1)$  entre les composantes de deux doublets consécutifs pour la même valeur de J.

La présence des doublets ou des triplets dépend de la nature des états mis en jeu. La première étape du traitement du spectre consiste à 'trier' les différentes séries et à déterminer les nombres quantiques associés aux raies spectrales de ces doublets ou triplets. Nous allons donc rappeler brièvement les éléments nécessaires à la compréhension de la technique utilisée.

Comme il est indispensable de posséder des données plus précises sur l'état fondamental, le premier travail consiste à 'trier' les séries qui correspondent aux émissions  $S - X \ ^2\Sigma$  où S représente l'état supérieur. C'est le cas où l'enregistrement du spectre est fait autour de la raie laser d'excitation (fig.III.1). Si le niveau supérieur excité a pour nombres quantiques  $v_{S1}$  et  $J_1$ , la première série est telle que :

$$v_{S1}, J_1 \rightarrow v_0 ( J_1 + 1, J_1 - 1 ) \dots v_k ( J_1 + 1, J_1 - 1 ),$$

et la n<sup>ème</sup> série est :

$$v_{Sn}, J_n \rightarrow v_0 ( J_n + 1, J_n - 1 ) \dots v_l ( J_n + 1, J_n - 1 ).$$

On adopte une numérotation en v en comptant les séries anti-Stokes et en supposant que  $v = 0$  est observé; il peut y avoir une erreur de une ou deux unités sur v. Ensuite, de l'écart le moins large possible dans une série et connaissant une valeur très approximative de B, on effectue une évaluation grossière de J à l'aide de l'expression suivante :

$$\frac{\Delta_2 F''}{4B} \approx J + \frac{1}{2}.$$

Pour les autres séries, le rapport des grandeurs  $\Delta_2 F''(J)$  et  $\Delta_2 F''(J_n)$  donne une approximation de  $J_n$ .

Une première réduction par moindres carrées conduit à un jeu de paramètres  $B_e, \alpha, \beta, D_e, \dots$ . Les premières attributions sont souvent incorrectes, surtout dans le cas d'une molécule lourde comme BaCl où les contributions des termes en J et (J+1) à l'énergie sont très voisines. On modifie donc les J relatifs à toutes les séries, sauf la première, jusqu'à obtenir un écart minimal entre valeurs observées et valeurs calculées des nombres d'ondes. En effet, en diminuant ou en augmentant de la même valeur l'ensemble des J au cours des essais successifs, on obtient un minimum relatif pour la variation de l'écart quadratique moyen.

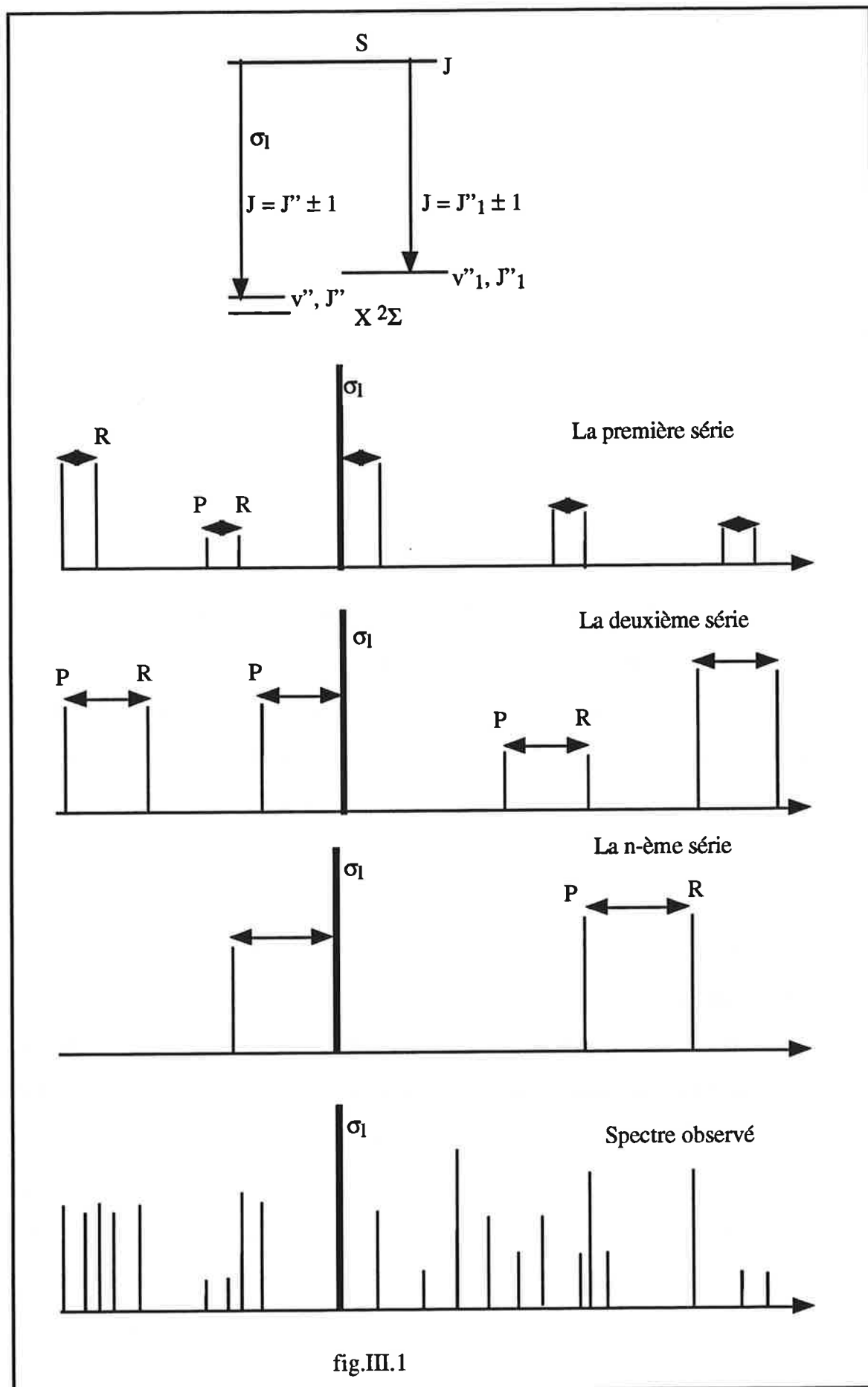


fig.III.1

Une vérification d'attributions correctes est fournie par la relations de Kratzer (cf.chap.II) entre  $D_e$ ,  $\omega_e$  et  $B_e$ . L'incertitude fournie par le calcul de moindres carrés doit être voisine de  $3.10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ , quantité qui représente sensiblement l'incertitude expérimentale sur les nombres d'ondes des raies spectrales. Le nombre d'essais nécessaires pour diminuer l'écart quadratique des erreurs peut être assez grand bien que peu de séries (5 à 10) soient introduites dans ces calculs initiaux.

Il peut arriver que pour certaines séries l'écart quadratique ne diminue pas, restant supérieur à  $10.10^{-3} \text{ cm}^{-1}$  et de signe systématique. Dans ce cas, la série appartient certainement à l'isotope  $\text{Ba}^{37}\text{Cl}$ . Elle est retirée provisoirement du calcul et ne sera réintroduite qu'ultérieurement quand, tenant compte des relations isotopiques entre les paramètres (cf.chap.II), un jeu fiable pour l'espèce principale aura été déterminé.

Quand les nombres quantiques des raies spectrales sont attribués, un répertoire est constitué pour l'état fondamental où sont données :

- \* les énergies en fonction de J pour chaque valeur de v;
- \* une liste des grandeurs  $\Delta_2F''(J)$  et  $\Delta G''(v, v+1)$ .

Pour attribuer les nombres quantiques d'une série inconnue, il suffit alors de mesurer les quantités  $\Delta_2F''(J)$  et  $\Delta G''(v, v+1)$  d'un seul doublet; les nombres v, J de toutes les raies de la série sont obtenus par simple consultation du répertoire. Celui-ci permet aussi de calculer l'énergie du niveau supérieur de la transition et de déduire, par soustraction de la fréquence du laser de pompage, les nombres v'' et J'' de l'état fondamental excité par le laser.

Cette étude fournit une représentation partielle pour l'état excité car chaque longueur d'onde laser n'excite qu'un petit nombre de niveaux (typiquement de 5 à 10).

Pour les états "intermédiaires" entre l'état excité et l'état fondamental, la même procédure pourrait être suivie. Cependant, la connaissance des nombres quantiques rotationnels J des niveaux excités simplifie beaucoup l'attribution des séries observées. Il ne reste plus qu'à obtenir un jeu cohérent de nombres vibrationnels v pour les séries.

### III-2 Traitement numérique

L'importance de la connaissance des constantes moléculaires est due au fait qu'elles sont reliées aux paramètres physiques fondamentaux de la molécule (longueurs des liaisons, fonction de l'énergie potentielle, ...). Une bonne connaissance de ces constantes moléculaires sert aussi à toute étude d'interactions moléculaires, en particulier l'étude des collisions et des réactions chimiques.

Depuis quelques années, les méthodes de détermination des constantes moléculaires à partir des nombres d'ondes expérimentaux ont beaucoup évolué. Cette évolution est liée, d'une part, au développement des moyens de calcul et, d'autre part, à l'accroissement des techniques d'analyse. Compte tenu de ces progrès on est passé de la représentation des termes d'énergie par des expressions analytiques de plus en plus complexes à la diagonalisation numérique exacte de la matrice de l'hamiltonien des états électroniques considérés. En effet, pour résoudre l'équation de Schrödinger indépendante du temps  $H\psi = E\psi$ , on a utilisé pendant longtemps des solutions analytiques approchées. Chaque niveau vibrationnel d'un état électronique donné est considéré comme isolé, les interactions avec d'autres états sont introduites par perturbation à différents ordres. Chaque énergie étant représentée par une expression matricielle, on a alors cherché, faute de moyens de calcul suffisants, à transformer ces représentations matricielles par des expressions analytiques simples à utiliser numériquement. En effet la diagonalisation littérale de la matrice hamiltonienne conduit à des expressions des valeurs propres développées en série, suivant les grandeurs relatives des paramètres, souvent complexes. Les paramètres dont la contribution énergétique est faible sont souvent fortement corrélés entre eux et difficiles à déterminer avec précision. Les expressions littérales approchées restent cependant utiles pour obtenir une première estimation des paramètres lors de l'étude d'un état nouveau ou lorsque des niveaux sont absents dans les spectres expérimentaux.

Le développement des moyens de calcul a permis la diagonalisation exacte de la matrice hamiltonienne, les paramètres ainsi obtenus par ajustement itératif conservant



"l'intégrité" de leur signification physique.

Les deux méthodes courantes de calcul des constantes moléculaires, se basant sur la diagonalisation numérique de la matrice hamiltonienne, sont :

\* La méthode d'approche indirecte (Aslund, 1965): les énergies des deux états sont d'abord calculées à partir des nombres d'ondes expérimentaux. Ensuite, dans une deuxième étape, ces niveaux d'énergies calculés sont utilisés pour déterminer les constantes moléculaires de l'état considéré.

\* La méthode d'approche directe ou d'ajustement par les moindres carrés (Zare, 1973) consiste à comparer les nombres d'ondes expérimentaux aux nombres d'ondes calculés à partir du modèle théorique.

### III-2.1 La méthode d'approche directe

Dans notre étude, la détermination des constantes moléculaires est basée sur la méthode par approche directe. Nous allons en rappeler brièvement le principe ainsi que celui de la méthode itérative des moindres carrés [14].

Schématiquement, la détermination des constantes moléculaires se fait par :

- \* L'étude du spectre c'est-à-dire l'évaluation de la position spectrale des raies et la détermination des nombres quantiques rotationnels et vibrationnels qui leur sont associés;
- \* Le choix de l'hamiltonien tenant compte des interactions intervenant dans la molécule puis le calcul de ses éléments avec des constantes moléculaires approchées;
- \* La diagonalisation numérique de la matrice hamiltonienne pour chaque valeur de J, qui fournit l'énergie des niveaux de la molécule dans l'état inférieur et dans l'état supérieur de la transition considérée.
- \* La comparaison directe entre les nombres d'ondes calculés comme différence des valeurs propres des matrices énergie hamiltonienne et les nombres d'ondes observés. En utilisant la méthode des moindres carrés, les paramètres moléculaires sont corrigés et permettent ensuite d'avoir un meilleur accord entre calcul et expérience. La procédure est répétée d'une façon itérative jusqu'à ce qu'il y ait convergence. La variance passe alors par une valeur minimale et les estimateurs obtenus sont sans erreur systématique.

La valeur du nombre d'ondes d'une raie spectrale est décrite par la différence de deux termes spectraux  $T_i^J$  :

$$\nu(J'') = T_i^{J'} - T_i^{J''} \quad (\text{III.1})$$

où les indices ' et '' correspondent respectivement à l'état supérieur et à l'état inférieur de la transition,  $i$  désigne le niveau vibrationnel considéré et  $J$  le sous niveau rotationnel.

La matrice hamiltonienne est de la forme :

$$H^J = \sum_{k=1}^P A_k HP_k^J \quad (\text{III.2})$$

où  $HP_k^J$  est la matrice des coefficients du paramètre  $A_k$  (l'ensemble des  $A_k$  constitue les "constantes" moléculaires).

Dans le calcul numérique, les matrices  $H^{J'}$  et  $H^{J''}$  sont construites d'abord avec des valeurs numériques approchées des paramètres initiaux. La valeur de chaque terme spectral  $T_i^J$ , pour un nombre quantique  $J$  donné, est obtenue en diagonalisant la matrice du hamiltonien correspondant :

$$T_i^J = (U^{-1} H^J U)_{i,i} \quad (\text{III.3})$$

où  $U$  est la matrice de transformation.

En combinant les relations III-2 et III-3, la quantité  $T_i^J$  peut s'écrire :

$$T_i^J = \left[ U^{-1} \left( \sum_{k=1}^P A_k HP_k^J \right) U \right]_{i,i} = \sum_{k=1}^P A_k (U^{-1} HP_k^J U)_{i,i} = \sum_{k=1}^P A_k X_{1k} \quad (\text{III.4})$$

l'indice 1 résumant les indices  $i$  et  $J$ . L'énergie du niveau  $(i, J)$  dépend linéairement des paramètres, mais les coefficients  $\{X_{1k}\}$  ne sont pas parfaitement connus.

Les nombres d'ondes d'une transition sont alors calculés et comparés aux nombres d'ondes expérimentaux, dont ils diffèrent d'un écart  $\delta\nu_i$ .

En représentation matricielle :

$$v = X A + \Delta \quad (\text{III.5})$$

où :  $v$  est la matrice unicolonne des nombres d'ondes expérimentaux (dimension  $n$ );  
 $X$  est la matrice des coefficients des paramètres  $X_{jk}$  (dimension  $n \times (p' + p'')$ );  
 $X_{jk}$  étant affectés du signe + pour l'état supérieur et du signe - pour l'état inférieur;  
 $A$  est la matrice unicolonne des paramètres (dimension  $p' + p''$ );  
 $\Delta$  est la matrice unicolonne des erreurs  $\delta v_i$  associées aux nombres d'ondes expérimentaux (dimension  $n$ ).

On sait que le meilleur estimateur  $\hat{A}$  du vecteur des paramètres  $A$  minimise la somme des carrés des écarts, donc la norme  $S$  :

$$S = \|v - X A\|^2 \quad (\text{III.6})$$

$S$  est minimale si :

$$\frac{\partial S}{\partial \hat{a}_l} = 0 \quad (l = 1, 2, \dots, p' + p'') \quad (\text{III.7})$$

où  $\hat{a}_l$  est un paramètre élément de la matrice  $A$ . Alors en notation matricielle :

$$N \hat{A} = X^t v \quad (\text{III.8})$$

$X^t$  étant la matrice transposée des coefficients des paramètres  $X$  et  $N = X^t X$ .

Toute solution  $\hat{A}$  de l'équation (III-8), appelée équation normale du système, est un estimateur au sens des moindres carrés.

La matrice  $N$ , symétrique et carrée de rang  $(p' + p'')$ , est inversible si les  $(p' + p'')$  colonnes de la matrice  $X$  sont linéairement indépendantes. Dans ce cas on peut calculer  $A$  :

$$\hat{A} = N^{-1} X^t v \quad (\text{III.9})$$

L'estimateur obtenu est sans erreur systématique et sa variance est alors minimale.

Les corrections à apporter aux paramètres se déduisent de la forme différentielle de la

relation (III.9) , soit sous forme matricielle :

$$\Delta A = N^{-1} X^t \Delta v \quad (\text{III.10})$$

où  $\Delta A$  est la matrice unicolonne de dimension  $(p'+p'')$  des corrections aux paramètres.

Les valeurs approchées des paramètres permettent d'explicitement numériquement  $X$  et  $\Delta v$ , d'où l'on déduit  $\Delta A$ . Les paramètres améliorés obtenus sont :

$$A = A_0 + \Delta A \quad (\text{III.11})$$

Les paramètres corrigés sont meilleurs que les précédents et peuvent servir à un nouveau cycle de calcul. Au cours des itérations successives, on améliore ainsi simultanément les paramètres et la matrice  $X$ . Le processus est arrêté lorsque la variance  $\sigma^2$  [éq. (III.12)] passe par un minimum, ce qui se produit en général au bout de deux à cinq itérations. La variance  $\sigma^2$  s'exprime par :

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{S}{n - (p' + p'')} \quad (\text{III.12})$$

La matrice variance-covariance des paramètres définie par :

$$\hat{V} = \hat{\sigma}^2 N^{-1} \quad (\text{III.13})$$

donne, par ses éléments diagonaux, les carrés des écarts types des valeurs estimées des paramètres  $\hat{A}$  et, par ses éléments non diagonaux, leurs covariances estimées.

### III-2.2 Traitement global

Le traitement de données spectroscopiques a été effectué lors de l'étude des différents molécules [15-17]. Les résultats obtenus ont clairement montré l'intérêt de traiter simultanément les nombres d'ondes de toutes les transitions observées. En effet, on constate que certains niveaux rovibrationnels interviennent dans plusieurs bandes d'un même système, ou sont communs à plusieurs systèmes. Le traitement simultané permet d'en tenir compte et fournira la détermination optimale, unique et simultanée de tous les paramètres moléculaires. Ceci se traduit par une amélioration de la détermination de ces paramètres : certaines constantes moléculaires dont la valeur  $n$  n'est pas significative dans un traitement

partiel, peuvent le devenir dans le traitement global.

Comme un grand nombre de données spectrales sont disponibles à la suite de l'analyse des spectres obtenus par transformée de Fourier, le traitement simultanée de toutes les données a été choisi. Le programme informatique utilisé pour les précédents études des molécules diatomiques [18,19] a été adapté au grand nombre d'états électroniques traités simultanément. La détermination des paramètres moléculaires des états impliqués dans les transitions observées a été réalisée en deux étapes:

- \* traitement préliminaire de chaque système;
- \* traitement global de tous les systèmes.

#### **IV- Caractérisation de l'état fondamental X $2\Sigma$**

Avant d'entreprendre les études sur les états électroniques excités, nous avons cherché à bien caractériser l'état fondamental X  $2\Sigma$ . Pour cela, nous avons analysé les deux transitions C  $2\Pi$  - X  $2\Sigma$  et B  $2\Sigma$  - X  $2\Sigma$ . Les attributions des spectres du système C  $2\Pi$  - X  $2\Sigma$  ont été revues pour plusieurs raisons : corriger quelques erreurs d'attribution de nombres quantiques rotationnels [5] ensuite, avoir des données plus précises et enfin élargir l'éventail des niveaux vibrationnels de l'état fondamental. Dans ce but, nous avons enregistré le spectre de la transition B  $2\Sigma$  - X  $2\Sigma$  en utilisant le laser Saphir Titane comme système d'excitation.

Dans ce paragraphe, nous donnerons une analyse détaillée des systèmes C  $2\Pi$  - X  $2\Sigma$  et B  $2\Sigma$  - X  $2\Sigma$  et nous présenterons le bilan des résultats obtenus.

##### **IV-1 Système C $2\Pi$ - X $2\Sigma$**

Les lasers Ar<sup>+</sup> (radiation à 514.5 nm) et Kr<sup>+</sup> (radiation à 530.9 nm) ont été utilisés pour peupler l'état C  $2\Pi$ . Le dispositif utilisé a été décrit dans le chapitre I. La fluorescence a été enregistrée entre 11000 cm<sup>-1</sup> et 24000 cm<sup>-1</sup>, domaine spectral d'émission de la transition C  $2\Pi$  - X  $2\Sigma$  avec une limite de résolution comprise entre 0.03 cm<sup>-1</sup> et 0.05 cm<sup>-1</sup>.

### IV-1.1 Description des spectres

L'état électronique 'supérieur' étant un état  $^2\Pi$ , la projection de la somme du moment orbital et du moment de spin électronique a les valeurs  $\Omega = 1/2$  et  $\Omega = 3/2$  correspondant à la séparation de structure fine. Par ailleurs, le dédoublement  $\Lambda$  introduit deux sous-niveaux e et f pour chaque nombre quantique de rotation J. Chaque bande vibrationnelle contient donc douze branches rotationnelles principales de type  $^2\Pi_{1/2} - ^2\Sigma_{1/2}$  et  $^2\Pi_{3/2} - ^2\Sigma_{1/2}$  (fig.IV.1).

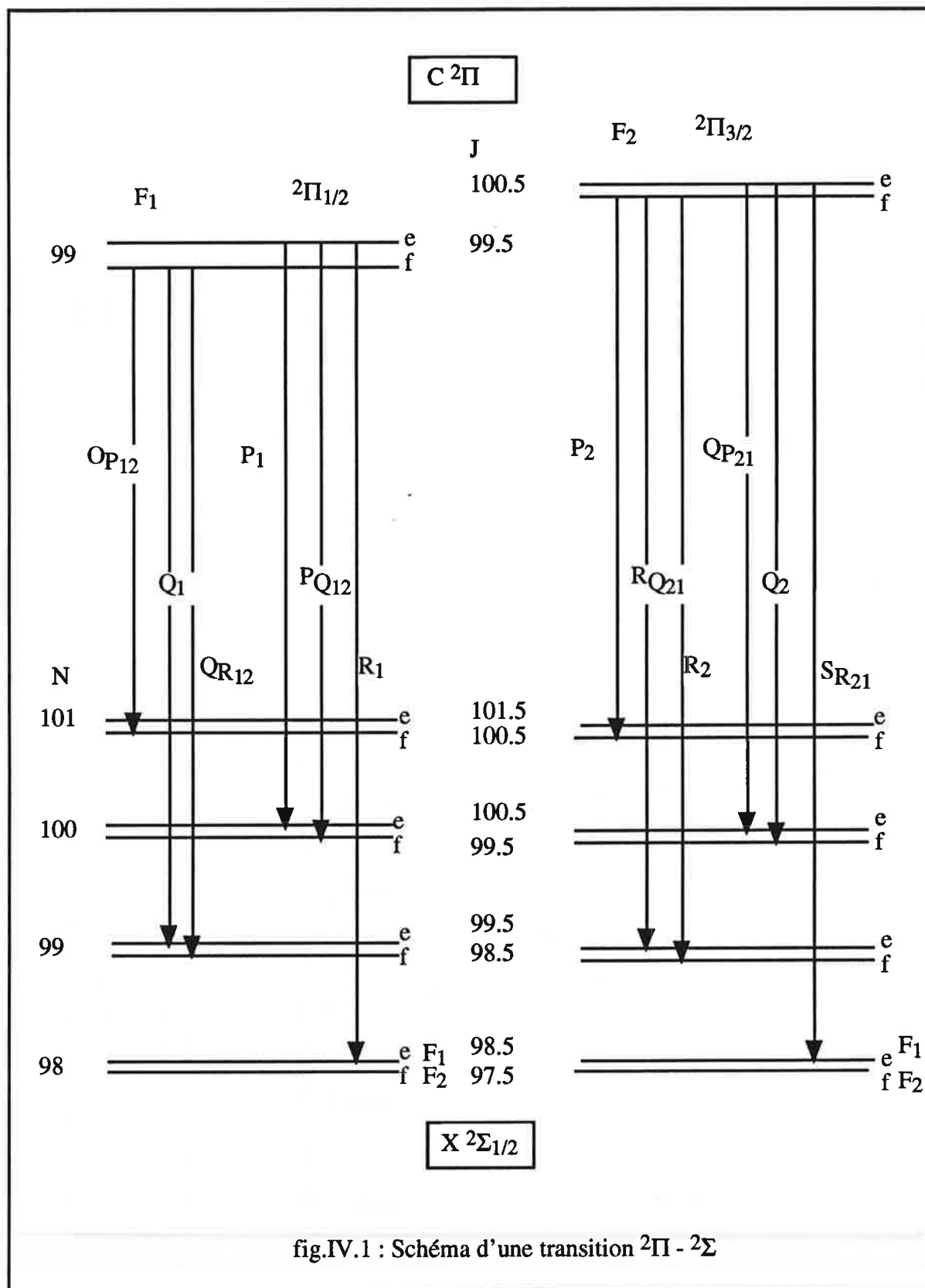
La caractéristique générale du spectre est sa complexité. Par ailleurs la largeur des raies observées est limitée par l'effet Doppler ( $\Delta\sigma_{\text{Doppler}} = 7.07 \cdot 10^{-7} (T/M)^{1/2} \sigma$ ) qui de l'ordre de  $25 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$  dans la région spectrale étudiée. Les raies sont peu résolues et parfois superposées malgré la haute résolution fournie par l'interféromètre. Deux parties du spectre sont représentatives de ce système :

\* La figure IV.2 représente une partie du spectre induit par la raie du laser Argon ionisé à 514.5 nm, elle montre quelques raies de la transition C  $^2\Pi_{1/2} - X ^2\Sigma$ .

\* La figure IV.3 représente une partie du spectre de la transition C  $^2\Pi_{3/2} - X ^2\Sigma$  induit par la raie du laser Krypton ionisé à 530.9 nm. ( l'étoile dénote une transition de la variété isotopique)

### IV-1.1 Identification des raies

Les séries de fluorescence de la transition C  $^2\Pi - X ^2\Sigma$  ont été identifiées par la méthode décrite dans le paragraphe III. L'investigation du spectre a permis l'analyse de cinquante bandes vibrationnelles avec des séquences  $\Delta v = v' - v''$  variant de -2 à +2, impliquant les quinze premiers niveaux de vibration de chacun des états électroniques. Des valeurs de J atteignant la valeur 169.5 ont été observées. Le tableau IV.1 résume les caractéristiques des transitions observées pour chaque longueur d'onde d'excitation : les nombres quantiques vibro-rotationnels  $v', J'$ , l'énergie  $E'$  du niveau supérieur, les nombres quantiques vibro-rotationnels  $v'', J''$ , l'énergie  $E''$  du niveau inférieur de l'état électronique fondamental excité par le laser et enfin la plage de variation  $\Delta v$  des niveaux vibrationnels de l'état fondamental.



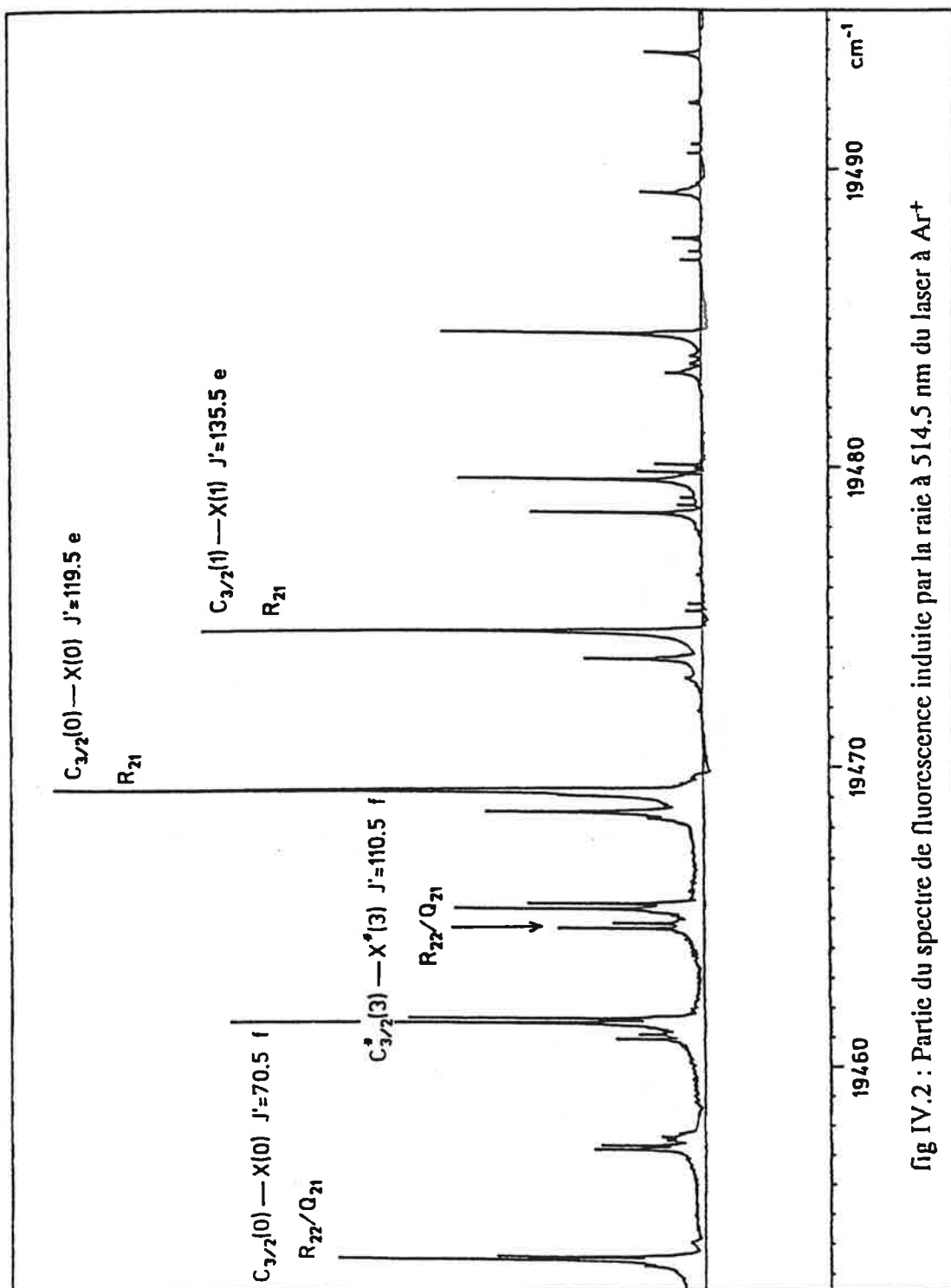


fig IV.2 : Partie du spectre de fluorescence induite par la raie à 514,5 nm du laser à  $\text{Ar}^+$



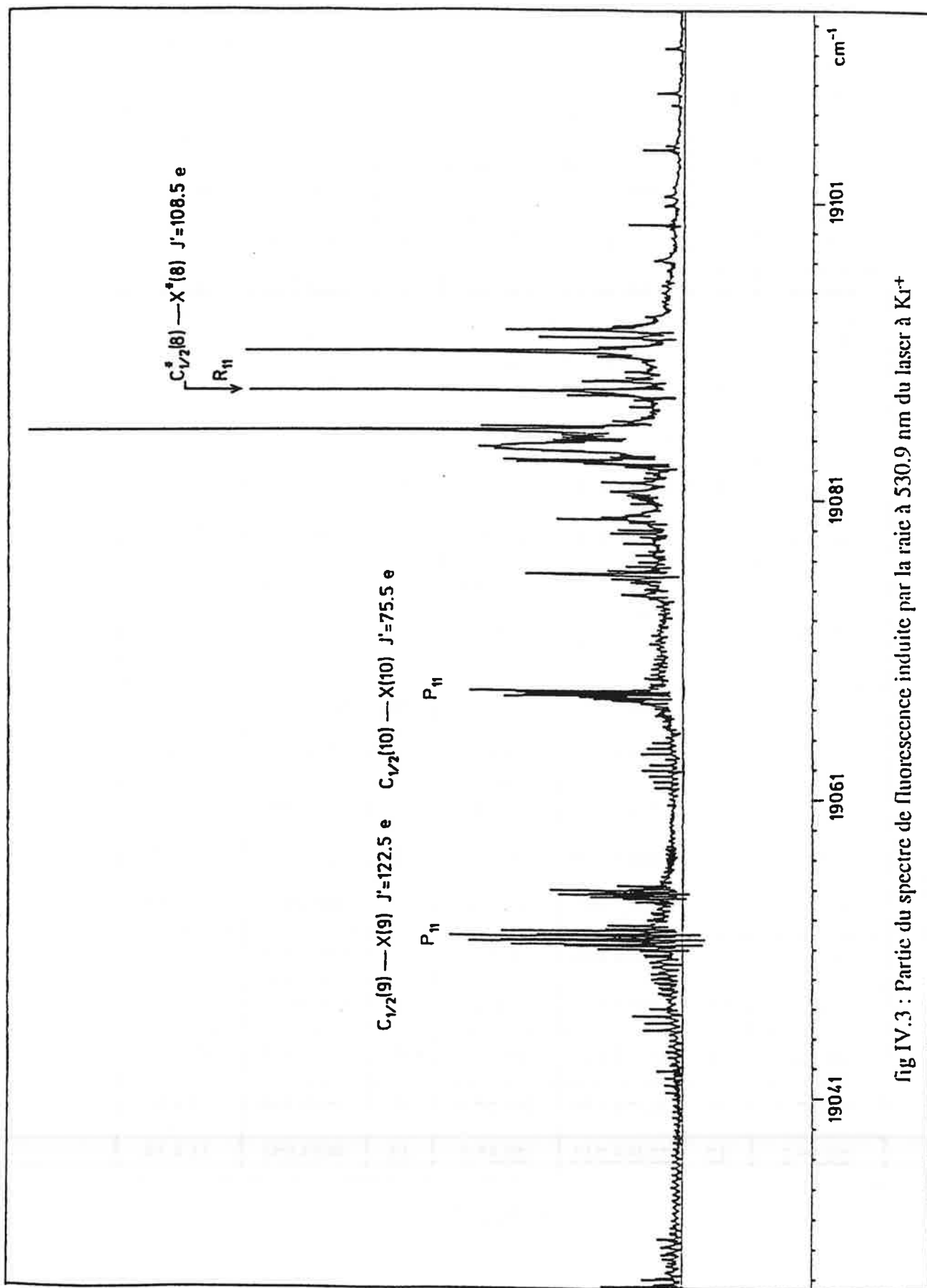


fig IV.3 : Partie du spectre de fluorescence induite par la raie à 530.9 nm du laser à  $\text{Kr}^+$

Ar <sup>+</sup> 514.5 nm 19429.79 cm <sup>-1</sup> C 2Π <sub>3/2</sub> - X 2Σ						
J'	v'	E'	J''	v''	E''	Δv
70.5 f	0	20009.062	71.5 f	0	579.302	0 à 1
119.5 e	0	20779.823	120.5 e	0	1350.252	0 à 1
135.5 e	1	21392.615	136.5 e	1	1962.753	0 à 2
84.5 f	1	20469.967	85.5 f	1	1040.738	1 à 2
95.5 f	2	20911.865	96.5 f	2	1482.098	1 à 3
154.5 e	2	22116.279	154.5 f	2	2686.930	2
107.5 f	3	21387.865	108.5 f	3	1958.009	2 à 4
169.5 e	3	22780.613	169.5 f	3	3350.836	3 à 4
110.5* f	3	21377.101	111.5* f	3	1947.299	3
Kr <sup>+</sup> 530.9 nm 18831.94 cm <sup>-1</sup> C 2Π <sub>1/2</sub> - X 2Σ						
122.5 e	9	22863.753	121.5 e	10	4031.906	8 à 10
75.5 e	10	22388.440	74.5 e	11	3556.756	9 à 11
49.5 e	11	22393.070	48.5 e	12	3561.249	10 à 12
117.5 f	14	24061.458	116.5 f	15	5229.463	13 à 15
67.5 e	16	23852.891	67.5 f	17	5020.953	15 à 17
43.5 e	15	23388.809	43.5 f	16	4556.934	14 à 16
156.5 f	15	25137.621	155.5 f	16	6306.036	15 à 17
88.5 e	17	24360.121	89.5 e	18	5528.278	16 à 18
108.5* e	8	22254.179	107.5* e	9	3422.346	7 à 9
29.5* f	12	22454.911	28.5* f	13	3623.051	11 à 14

Tableau IV.1

## IV-2 Système B $^2\Sigma$ - X $^2\Sigma$

Le dispositif expérimental utilisé pour l'enregistrement des spectres est le même que celui décrit dans le chapitre I. Les raies laser utilisées pour peupler l'état B  $^2\Sigma$  sont, d'une part une raie d'un laser à Kr<sup>+</sup> à 799.3 nm et d'autre part une série de raies de 767 nm à 846 nm du laser Saphir Titane. Nous avons enregistré le spectre dans le domaine s'étendant de 8700 cm<sup>-1</sup> à 13260 cm<sup>-1</sup> avec une limite de résolution comprise entre 0.005 cm<sup>-1</sup> et 0.01 cm<sup>-1</sup>. Dans cette région spectrale nous avons observé le système B  $^2\Sigma$  - X  $^2\Sigma$ .

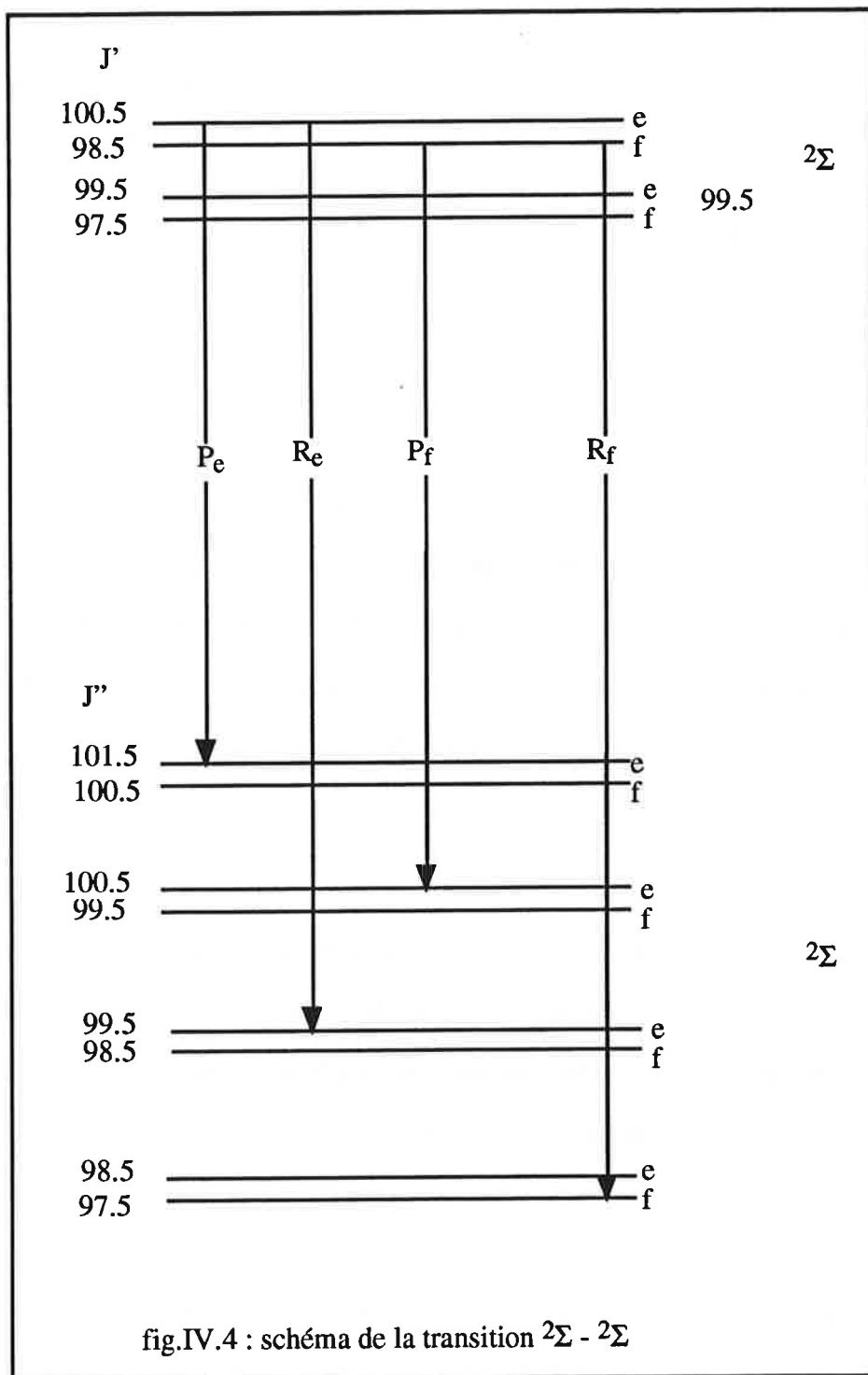
### IV-2.1 Description des spectres

Le système B  $^2\Sigma$  - X  $^2\Sigma$  met en jeu deux états doublets, chaque bande vibrationnelle contient donc quatre branches rotationnelles principales de type  $^2\Sigma_{1/2}$  -  $^2\Sigma_{1/2}$  (fig.IV.4).

La technique de la fluorescence induite par laser, sélectionnant un petit nombre de transitions dont les fréquences coïncident avec celle du laser, a permis d'obtenir des spectres moins denses que dans une émission classique où tous les niveaux supérieurs peuplés émettent. Le spectre n'étant pas "noyé" au milieu des fluorescences d'un grand nombre d'autres niveaux ( $v'$ ,  $J'$ ), l'attribution des raies est relativement simplifiée. Nous allons présenter des exemples de spectres qui sont représentatifs de l'ensemble du travail effectué sur le système B  $^2\Sigma$  - X  $^2\Sigma$ .

Le spectre du système B  $^2\Sigma$  - X  $^2\Sigma$  induit par la raie du laser à Krypton se présente sous forme de séries de doublets de raies spectrales. La figure IV.5 représente une partie typique de ce spectre : elle comprend deux doublets. Autour des raies les plus intenses apparaissent de petites raies symétriques par rapport à la raie principale, ce sont les raies de relaxations rotationnelles. En effet, par collision, une partie des molécules dans le niveau rotationnel de nombre quantique J sont transférées dans les niveaux rotationnels J' voisins tout en restant dans le même état vibrationnel. Ces raies de relaxation sont moins intenses que les raies principales. On remarque une décroissance régulière de leur intensité au fur et à mesure que l'on s'éloigne des raies principales, la probabilité de passage de J à J' au cours

d'une collision diminue donc lorsque  $|J - J'|$  augmente. Les relaxations vibrationnelles n'ont pas été observées car la pression dans le caloduc n'est pas assez forte pour que les collisions soient très nombreuses.



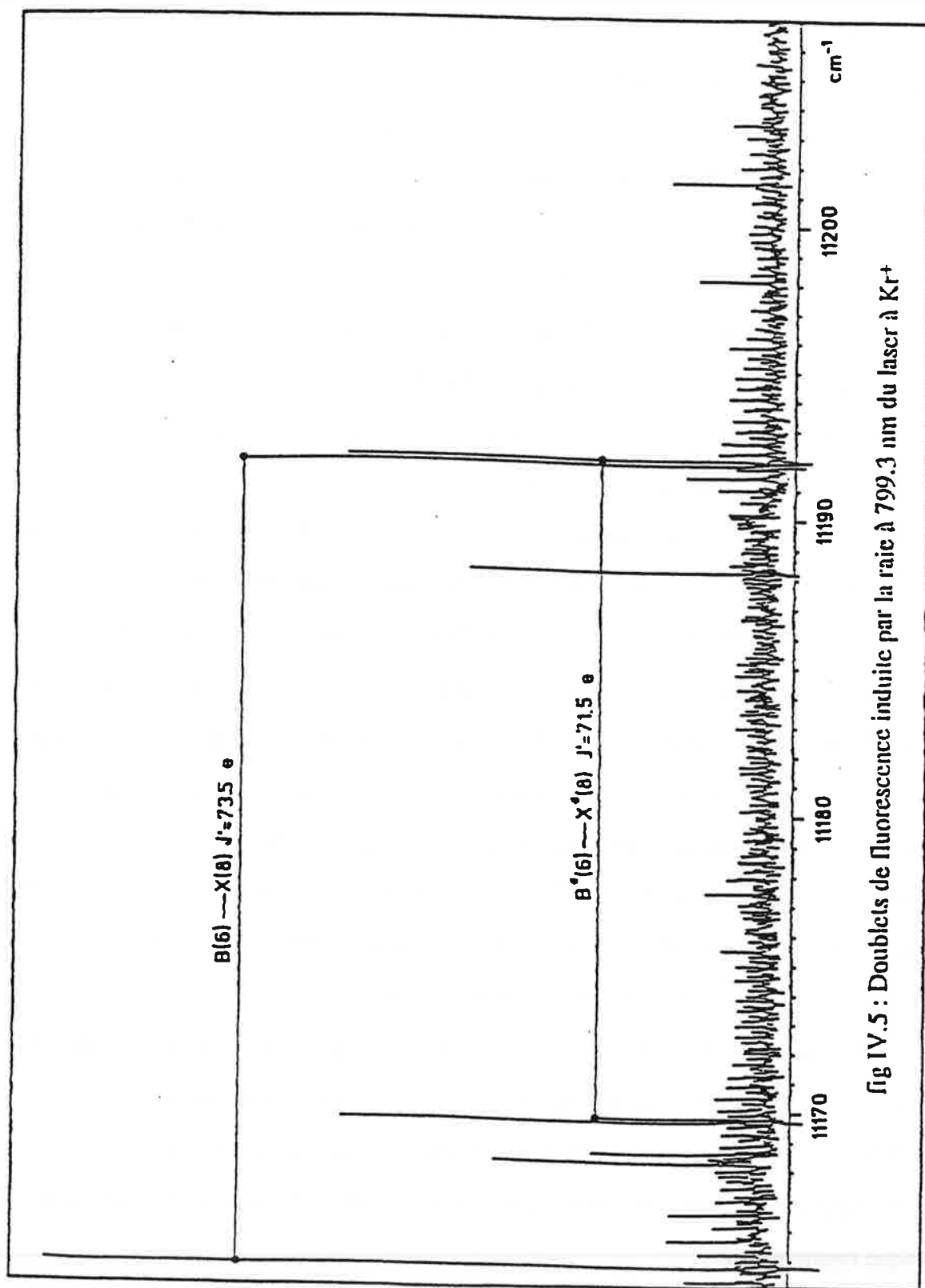


fig IV.5 : Doublets de fluorescence induite par la raie à 799.3 nm du laser à Kr<sup>+</sup>

Le spectre du système B  $^2\Sigma$  - X  $^2\Sigma$  induit par les raies du laser SaTi se présente également sous forme de séries de doublets de raies spectrales comme celui induit par la raie laser Kr<sup>+</sup>. Le rapport signal-sur-bruit des spectres est bien supérieur à celui des spectres induits par le laser à Krypton ionisé (fig.IV.6). Certains doublets présentent une particularité: la présence de raies moins intenses entre les raies principales et de fréquences voisines de celle de la raie P ou de la raie R. Elles se sont révélées être des branches Q. L'apparition des raies Q dans une transition  $^2\Sigma$  -  $^2\Sigma$  est très rare dans les spectres [20].

La figure IV.6 représente une partie du spectre induit par la raie 804.960 nm du laser Saphir Titane. Cette figure comprend quatre doublets. Les raies les plus intenses sont accompagnées de nombreuses raies rotationnelles de relaxation provenant des niveaux supérieurs de rotation voisins du niveau principal, couvrant un vaste domaine. Les intensités de ces raies sont alternées : les raies avec  $\Delta J$  pair ( $\Delta J = 0, \pm 2, \pm 4, \dots$ ), sont plus intenses que les raies avec  $\Delta J$  impairs ( $\Delta J = \pm 1, \pm 3, \dots$ ). Les raies principales ont des intensités différentes : la raie R<sub>e</sub> est plus intense que la raie P<sub>e</sub> quand le niveau pompé de l'état B  $^2\Sigma$  est de parité e, et c'est la raie P<sub>f</sub> qui est intense quand le niveau pompé est de parité f. Des raies Q de faible intensité sont observées à côté de la raie P<sub>e</sub> du doublet correspondant à J=85,5 et à côté de la raie R<sub>f</sub> du doublet correspondant à J=128,5. L'apparition des six branches se comprend en regardant la figure IV.7 qui montre schématiquement les niveaux d'énergies de la transition B  $^2\Sigma$  - X  $^2\Sigma$ . La constante de spin-rotation de l'état B  $^2\Sigma$  est négative et égale à 2B [9]. Les niveaux de parité e avec le nombre quantique rotationnel J' sont alors proches des niveaux de parité f avec le nombre quantique rotationnel (J' - 2). Quand le niveau de parité e est excité, c'est le cas du niveau J' = 85.5 e, la raie Q<sub>ef</sub> apparaît proche de la raie P<sub>e</sub> avec une fréquence légèrement supérieure à celle de P<sub>e</sub>. Si le niveau excité est de parité f (J' = 128.5), la raie Q<sub>fe</sub> est proche de la raie R<sub>f</sub> dont la fréquence est plus petite que celle de R<sub>f</sub>. Le rapport d'intensité entre la raie Q et les raies P et R semble indépendant du nombre quantique rotationnel J.

De cette description du spectre nous pouvons faire trois remarques :

- \* L'existence des branches Q dans les spectres du système B  $^2\Sigma$ - X  $^2\Sigma$  confirme que l'état B  $^2\Sigma$  est mélangé avec A  $^2\Pi$ ;

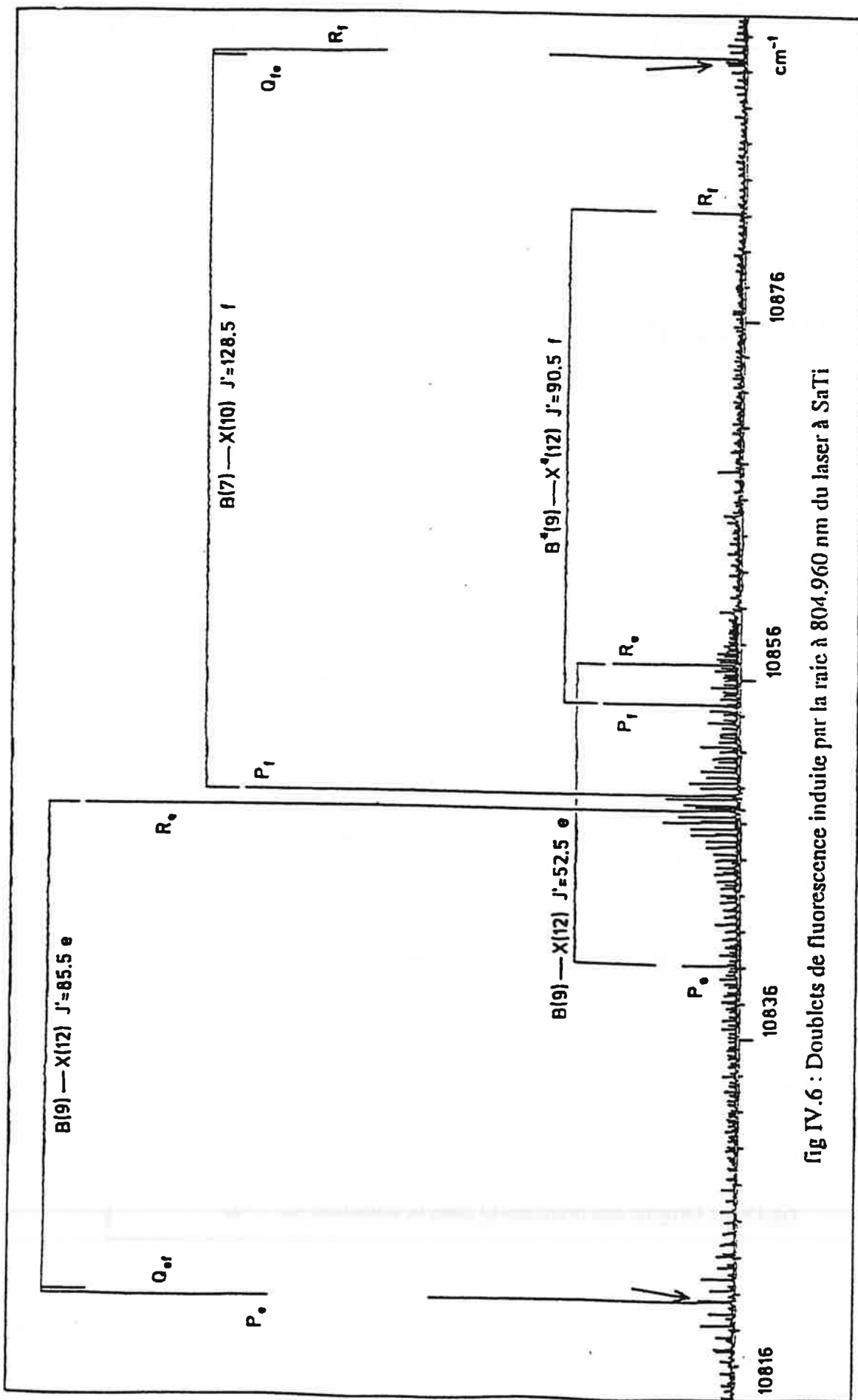
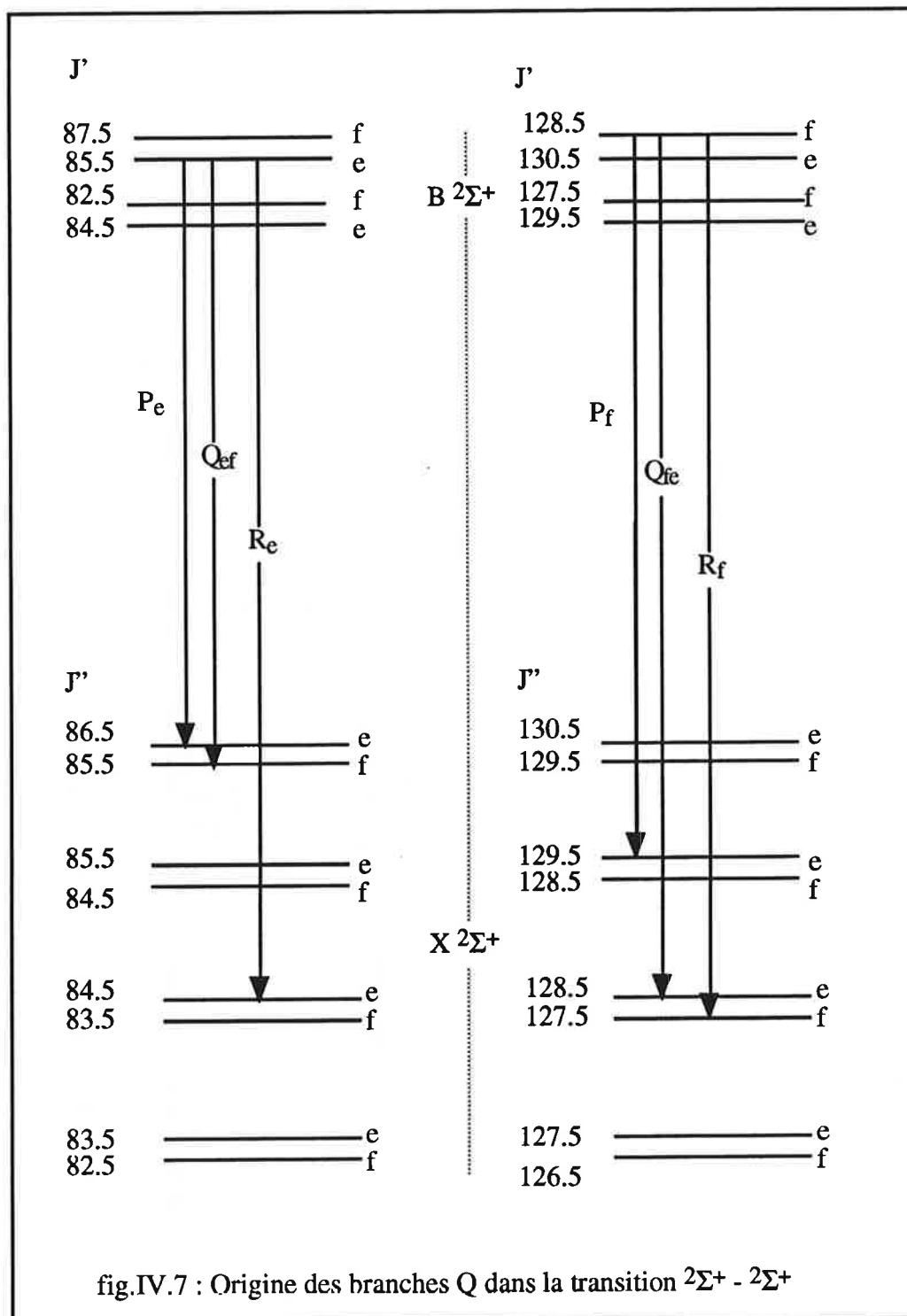


fig IV.6 : Doublets de fluorescence induite par la raie à 804.960 nm du laser à SaTi

\* La position de la raie Q permet de prévoir sans ambiguïté la parité (e ou f) du niveau pompé dans l'état B  $2\Sigma$ ;

\* Les intensités des raies P et R dépendent de la parité du niveau pompé dans l'état B  $2\Sigma$ .





#### IV-2.2 Identification des raies

L'identification des raies du système B  $^2\Sigma$  - X  $^2\Sigma$ , c'est-à-dire l'attribution des nombres quantiques qui leur sont associés, a été effectuée en utilisant le répertoire et les constantes moléculaires de l'analyse du système C  $^2\Pi$  - X  $^2\Sigma$ . Nous avons identifié 157 bandes, dont 37 appartiennent à l'isotope Ba<sup>37</sup>Cl, avec des séquences variant de  $\Delta v = -3$  à  $\Delta v = 5$ . Nous avons observé les niveaux vibrationnels des états B  $^2\Sigma$  et X  $^2\Sigma$  jusqu'à  $v = 20$ . La plage de nombres quantiques rotationnels observés s'étend de  $J = 10.5$  jusqu'à  $J = 148.5$ . Pour comprendre le nombre de niveaux rotationnels excités à des J aussi élevés, nous avons calculé la répartition thermique rotationnelle dans des niveaux vibrationnels de l'état fondamental à la température du caloduc, soit 1120 C°. La population  $P(J'')$  du niveau  $J''$  est proportionnelle à  $(2J''+1) \exp - \{B_v J'' (J''+1) + D_v [J''(J''+1)]^2 / kT\}$ . La courbe de la figure IV.8 représente  $P(J)$ . Le maximum est obtenu pour  $J = 80.5$  et  $P(J)$  pour  $J > 150.5$  n'est pas négligeable. Le tableau IV.2 résume les valeurs des quantités  $J'$ ,  $v'$ ,  $E'$  des niveaux excités ainsi que celles du niveau fondamental.

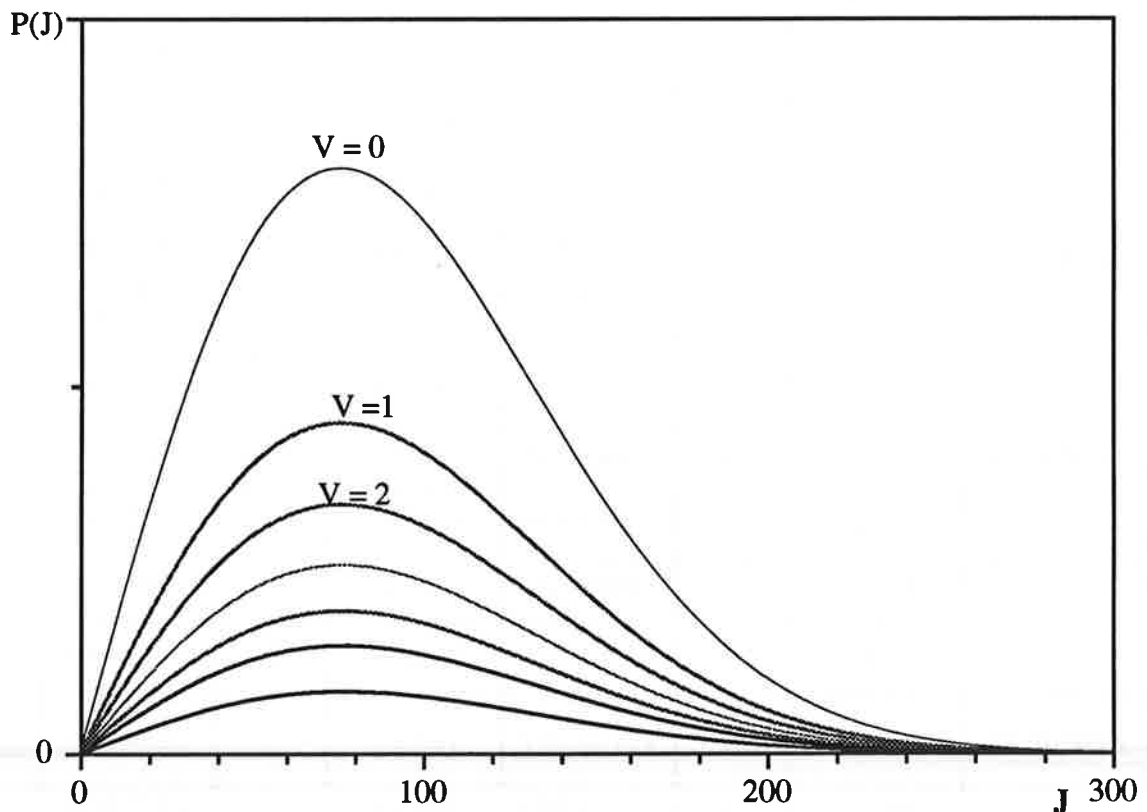


fig.IV.8 : distribution thermique de la population de BaCl des niveaux rotationnels dans l'état X  $^2\Sigma$

Kr+ 799.3 nm		12507.16 cm <sup>-1</sup>		B 2Σ - X 2Σ			
	J'	v'	E'	J''	v''	E''	Δv
	91.5 e	5	13910.972	92.5 e	2	1403.799	2 à 8
	73.5 e	6	13923.125	73.5 f	3	1416.150	3 à 9
	92.5 e	6	14167.923	91.5 e	3	1660.840	3 à 9
	52.5 f	7	13977.243	51.5 f	4	1470.128	4 à 10
	147.5 f	12	16626.211	148.5 f	8	4119.076	8 à 16
	80.5 e	15	16125.311	79.5 e	11	3618.198	11 à 20
	71.5 * e	6	13849.148	70.5* e	3	1342.046	3 à 9
TiSa (cm <sup>-1</sup> )	J'	v'	E'	J''	v''	E''	Δv
<b>12638.20</b>	120.5 f	9	15378.740	121.5 f	5	2740.525	7 à 14
	40.5 e	11	14832.329	41.5 e	7	2194.100	9 à 15
	70.5 e	11	15084.938	69.5 e	7	2446.716	9 à 16
	31.5 * e	11	14720.831	30.5* e	7	2082.625	9 à 15
<b>12637.89</b>	79.5 e	10	14951.969	80.5 e	6	2314.073	7 à 10
	139.5 e	9	15717.273	138.5 e	5	3079.385	6 à 9
<b>12301.65</b>	124.5 f	2	13774.502	125.5 f	0	1472.867	3 à 6
	79.5 e	3	13259.312	80.5 e	1	957.667	4
	53.5 f	4	13252.020	54.5 f	2	950.369	5
<b>11821.76</b>	134.5 e	0	13445.459	133.5 e	0	1623.738	1 à 2
	108.5 e	0	12943.878	108.5 e	0	1122.145	0 à 2
	96.5 e	1	12998.548	95.5 e	1	1176.785	1 à 3
	109.5 * f	0	12951.056	110.5* f	0	1129.289	1 à 2
<b>12050.98</b>	124.5 e	2	13735.077	123.5 e	1	1684.099	1 à 5
	84.5 e	3	13323.841	83.5 e	2	1272.854	2 à 6
	126.5 * f	1	13504.173	127.5* f	0	1453.187	1 à 4
	108.5 * e	3	13145.358	109.5* e	0	1094.321	2 à 6

TiSa		B $2\Sigma$ - X $2\Sigma$					
raie laser	J'	v'	E'	J''	v''	E''	$\Delta v$
<b>12287.14</b>	137.5 f	2	14046.058	138.5 f	0	1758.922	0 à 6
	77.5 f	4	13505.926	78.5 f	2	1218.778	2 à 8
	72.5 f	5	13690.913	71.5 f	3	1403.988	3 à 9
	10.5 e	5	13267.764	11.5 e	3	980.629	4 à 8
<b>12422.97</b>	128.5 f	7	15061.582	129.5 f	4	2638.617	5 à 12
	52.5 e	9	14441.996	52.5 f	6	2019.030	7 à 13
	85.5 e	9	14790.766	84.5 e	6	2367.793	7 à 14
	90.5 * f	9	14809.009	89.5* f	6	2386.554	7 à 13
<b>13039.14</b>	106.5 e	14	16259.498	105.5 e	8	3220.352	13 à 19
	51.5 f	15	15855.928	52.5 f	9	2817.445	14 à 20
	127.5 * f	12	16091.714	128.5* f	6	3052.560	12 à 15
<b>12944.70</b>	85.5 f	9	14817.338	86.5 f	4	1872.640	6 à 13
	103.5 e	9	15050.941	102.5 e	4	2106.254	6 à 13
	120.5 f	9	15378.740	119.5 f	4	2434.041	6 à 13
<b>12809.90</b>	73.5 f	5	13702.615	74.5 f	1	892.720	2 à 9
	26.5 e	6	13558.596	25.5 e	2	748.698	3 à 10
	48.5 f	14	15602.192	49.5 f	9	2792.286	11 à 19
<b>12857.71</b>	148.5 e	10	16145.305	147.5 e	5	3287.595	10 à 13
	93.5 e	11	15371.049	94.5 e	6	2513.353	8 à 15
<b>12779.01</b>	25.5 e	7	13798.390	24.5 e	3	1019.380	9 à 18
	133.5 e	13	16515.171	132.5 e	8	3736.160	5 à 11
	45.5 f	15	15810.799	46.5 f	10	3031.778	11 à 2

Tableau IV.2

### IV-2.3 Affinement de la fluorescence par laser

Les deux principales caractéristiques des radiations émises par le laser Saphir Titane sont la largeur spectrale très fine, de l'ordre de  $10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ , et la puissance monomode très élevée (2 W). De plus ce laser présente par rapport aux autres lasers une très bonne stabilité en intensité et en fréquence pendant la durée nécessaire à l'enregistrement d'un spectre, soit 2 à 3 heures. Nous avons observé que la largeur des raies qui constituent le spectre de fluorescence est plus faible que la largeur Doppler correspondant à une température d'excitation égale à celle du four. Cette largeur est celle des raies de chimiluminescence, aussi est-il très facile dans le même spectre d'observer des raies larges et des raies fines. Cet affinement par rapport à l'effet Doppler est dû au fait que le laser Saphir Titane excite une seule classe de vitesse des molécules dans le caloduc. Une comparaison des largeurs entre une raie de chimiluminescence et une raie de fluorescence met en évidence ce phénomène.

La figure IV.9 représente deux raies de la transition  $B^2\Sigma - X^2\Sigma$ . La raie de chimiluminescence  $B(v' = 0) - X(v'' = 0)$ ,  $P_e(J = 99,5)$  à  $11537.65 \text{ cm}^{-1}$  a une largeur de  $30 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$  qui correspond à la largeur Doppler à la température du caloduc combinée à la fonction d'appareil de l'interféromètre de Fourier ( $5 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ ). La raie de fluorescence  $B(v' = 2) - X(v'' = 2)$ ,  $P_f(J = 139,5)$  à  $11745.24 \text{ cm}^{-1}$  est sub-Doppler car sa largeur, environ  $15 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ , est la moitié de celle de la raie chimiluminescence.

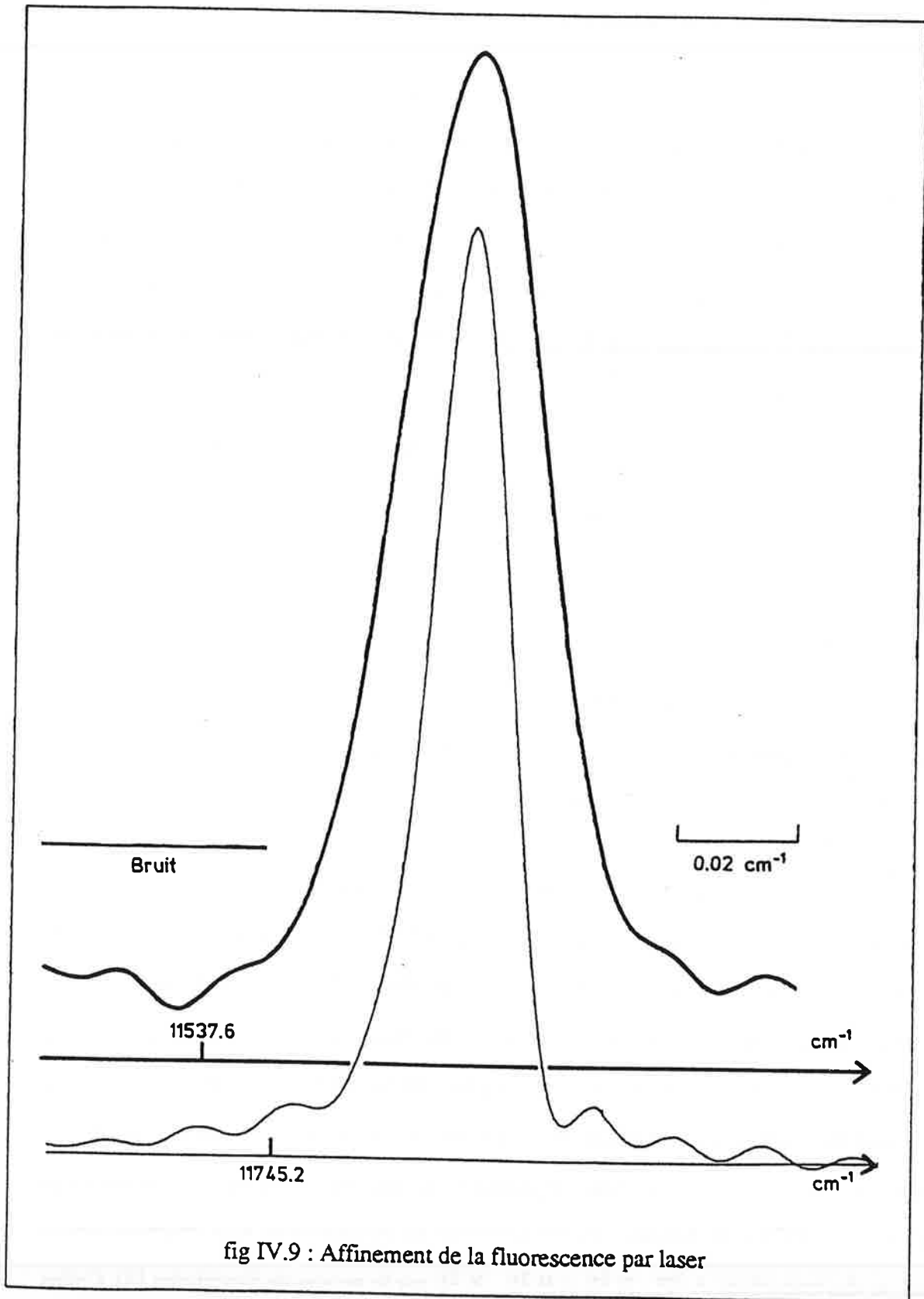


fig IV.9 : Affinement de la fluorescence par laser

### IV-3 Résultats et analyse

Les constantes moléculaires préliminaires de l'état X  $^2\Sigma$  ont été obtenues à l'aide de la méthode d'approche directe dont le principe a été décrit dans le paragraphe III. Le traitement numérique a porté sur l'ensemble des nombres d'ondes du système B  $^2\Sigma$  - X  $^2\Sigma$  et ceux du système C  $^2\Pi$  - X  $^2\Sigma$ . Pour ce calcul, un total de 3700 nombres d'ondes a été introduit provenant des séries de raies P, Q et R. Les nombres d'ondes de l'isotope Ba $^{37}\text{Cl}$  sont aussi introduites dans le calcul. Les états B  $^2\Sigma$  et X  $^2\Sigma$  sont décrits dans la base (b) de Hund en utilisant les développements habituels des constantes en v :

$$T = T_v + B_v N(N + 1) - D_v [N(N + 1)]^2 + H_v [N(N + 1)]^3 \pm 1/2 \gamma N$$

$$T_v = T_e + \omega_e (v + 1/2) - \omega_e x_e (v + 1/2)^2 + \omega_e y_e (v + 1/2)^3 + \dots$$

$$B_v = B_e - \alpha (v + 1/2) + \delta (v + 1/2)^2 + \dots$$

$$D_v = D_e + \beta (v + 1/2) + \dots$$

$$\gamma = \gamma_e - \gamma_v (v + 1/2) + \gamma_D N(N + 1) + \dots$$

où le nombre quantique J est lié à N par les relations suivantes :

$$N = J - 1/2 \text{ pour le niveau de parité e}$$

$$N = J + 1/2 \text{ " " " " " f}$$

La précision des mesures et le grand nombre d'informations ont permis d'obtenir une valeur minimale de l'écart quadratique moyen de  $3.10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ . Nous avons déterminé 49 paramètres significatifs; 12 pour l'état X  $^2\Sigma$ , 20 pour l'état C  $^2\Pi$  et 17 pour l'état B  $^2\Sigma$ .

Le but de ce paragraphe était la caractérisation de l'état fondamental, nous avons donc retenu les constantes moléculaires de l'état X  $^2\Sigma$  les plus précises et les plus cohérentes possible des différents traitements. Le tableau IV.3 regroupe les valeurs de ces constantes exprimées en  $\text{cm}^{-1}$ . Les valeurs entre parenthèses représentent la "déviation standard". Les relations de Kratzer sont vérifiées, un bon accord est trouvé avec les constantes de X  $^2\Sigma$  obtenues lors de l'analyse des transitions A  $^2\Pi$  - X  $^2\Sigma$  et B  $^2\Sigma$  - X  $^2\Sigma$  par le groupe de Stockholm [8]. Celles de l'état B  $^2\Sigma$  et C  $^2\Pi$  constituent une première approche aux véritables paramètres et seront utilisées comme des jeux initiaux pour les autres traitements numériques.

Constantes moléculaires préliminaires de l'état X $2\Sigma$	
$\omega_e$	279.89095 (51)
$\omega_e x_e$	0.814137 (39)
$\omega_e y_e 10^3$	1.1308 (11)
$B_e 10^2$	8.396825 (12)
$\alpha 10^4$	3.34832 (43)
$\delta 10^7$	2.554 (13)
$D_e 10^8$	3.0265 (40)
$\beta 10^{11}$	2.267 (12)
$H_e 10^{15}$	-2.3 fixé
$\gamma_e$	1.623 (13)
$\gamma_v 10^4$	-3.69 (78)
$\gamma_D 10^8$	1.03 (75)

Tableau IV.3

#### IV-4 Conclusion

La caractérisation de l'état fondamental est une étape primordiale avant l'étude des états électroniques excités. Cette caractérisation a été réalisée grâce aux performances de la technique expérimentale et de la méthode numérique utilisées. Au cours de l'analyse de la transition B  $2\Sigma$  – X  $2\Sigma$  plusieurs phénomènes ont été mis en évidence. L'observation des raies Q dans les systèmes B  $2\Sigma$  – X  $2\Sigma$  et F  $2\Sigma$  – B  $2\Sigma$  (cf.§.VI) nous a permis de conclure que l'état B  $2\Sigma$  est mélangé avec l'état A  $2\Pi$  par l'interaction spin-orbite. Un traitement des interactions dans le complexe "nd" formé par les états A' $2\Delta$ , A  $2\Pi$  et B  $2\Sigma$  s'avèrera donc nécessaire pour avoir des fonctions d'ondes réalistes des états impliqués; ces fonctions d'ondes étant nécessaires pour le calcul des intensités des raies observées. Ce traitement fera l'objet du quatrième chapitre. Il est par ailleurs intéressant de noter certaines possibilités offertes par la technique de la fluorescence induite par laser associée à la spectrométrie par transformation de Fourier et qui n'ont pas encore été exploitées : l'étude des processus

collisionnels conduisant aux raies de relaxation. Les informations qu'on peut obtenir à partir des spectres sont :

- \* les intensités des raies de relaxation dans le cas d'une excitation par le laser SaTi et dans le cas d'une excitation par un laser multimode;

- \* la conservation de l'affinement dans les raies de relaxation dans le cas de SaTi

Ces données expérimentales peuvent être le point de départ d'une étude fine des processus collisionnels.

## V- Caractérisation de l'état C $2\Pi$

La technique de la fluorescence induite par laser associée à la spectrométrie de Fourier fournit essentiellement des informations sur l'état électronique inférieur des transitions observées (cf.chap.I). Pour améliorer la connaissance de l'état C  $2\Pi$ , il a semblé évident d'exciter des états d'énergie supérieure à celle de l'état C  $2\Pi$  de façon à ce qu'il devienne un état "inférieur". Nous présenterons dans ce paragraphe l'analyse des transitions électroniques E  $2\Sigma$  - C  $2\Pi$  et F  $2\Sigma$  - C  $2\Pi$  observées pour la première fois.

### V-1 Système E $2\Sigma$ - C $2\Pi$

Pour peupler les niveaux d'énergie de l'état E  $2\Sigma$ , nous avons utilisé deux radiations à 350.7 et 356.4 nm du laser Krypton ionisé et quelques radiations oscillant dans la région ultraviolette du laser Argon ionisé. La fluorescence est enregistrée dans la région variant de 6000 à 10000  $\text{cm}^{-1}$  avec une limite de résolution comprise entre 0.01  $\text{cm}^{-1}$  et 0.03  $\text{cm}^{-1}$ .

#### V-1.1 Description des spectres

Le spectre se présente sous forme de séries de triplets, les douze branches prévues théoriquement ont été observées. Dans chaque triplet, la raie Q a une intensité plus grande que celles des raies P et R, ces deux dernières étant d'intensités comparables. Les séries de triplets sont caractérisées par une structure symétrique caractéristique comme le montre la figure V.1. Autour des raies les plus intenses apparaissent des raies de relaxations qui



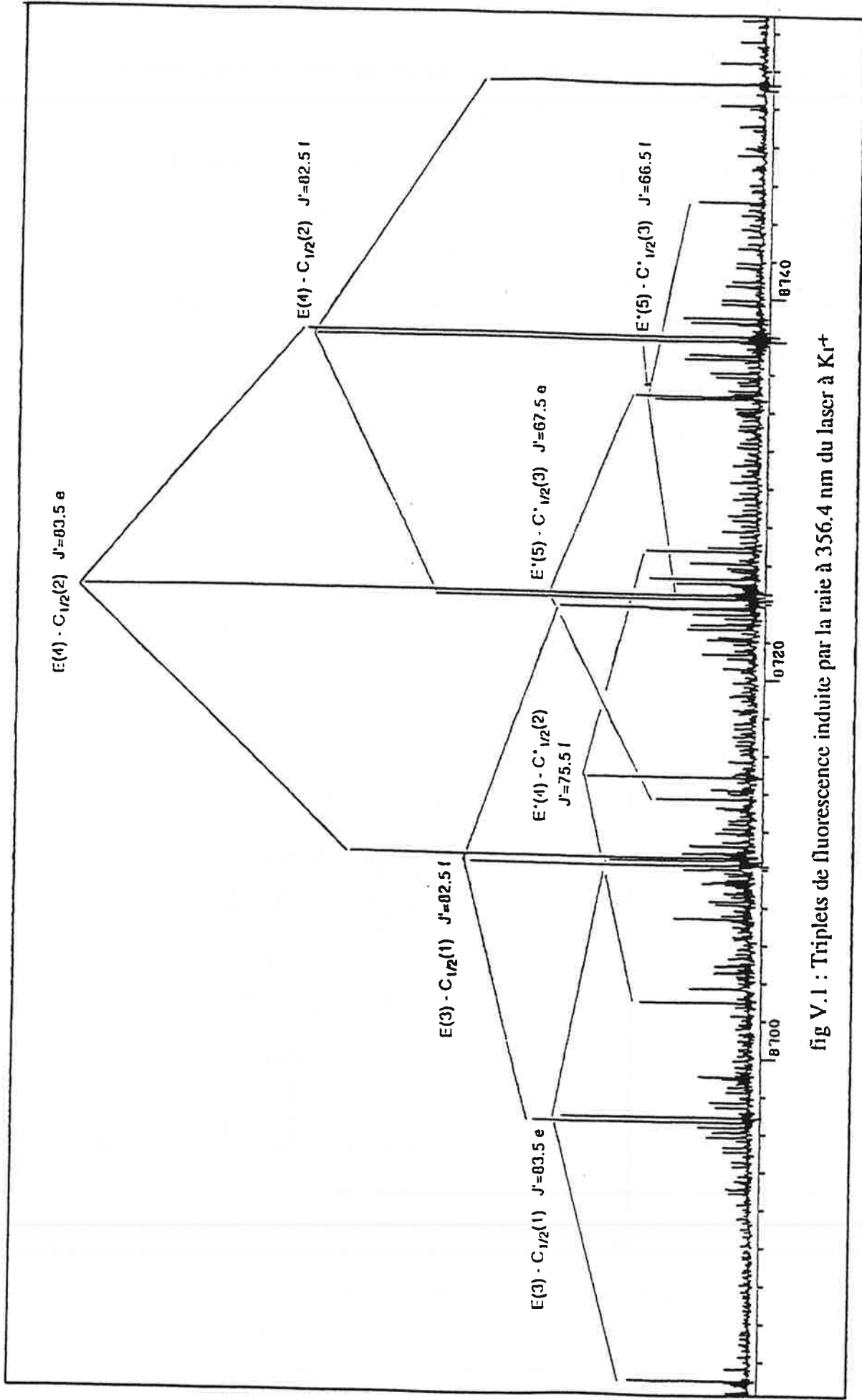


fig V.1 : Triplets de fluorescence induite par la raie à 356.4 nm du laser à  $K1^+$

s'étendent sur un large domaine. La même structure est observée tant pour le sous-système  $E\ 2\Sigma - C\ 2\Pi_{1/2}$  que pour  $E\ 2\Sigma - C\ 2\Pi_{3/2}$ . Sur le spectre nous avons observé des triplets enchevêtrés (couples de triplets). Ceci est dû, d'une part à la faible différence d'énergie entre les sous niveaux e, f de l'état supérieur et au caractère du laser utilisé, d'autre part. En effet le laser utilisé fonctionne en multimode, et c'est l'existence de deux modes laser qui ont coïncidé avec les énergies des deux sous niveaux e, f qui permet qu'ils soient pompés simultanément (fig.V.2).

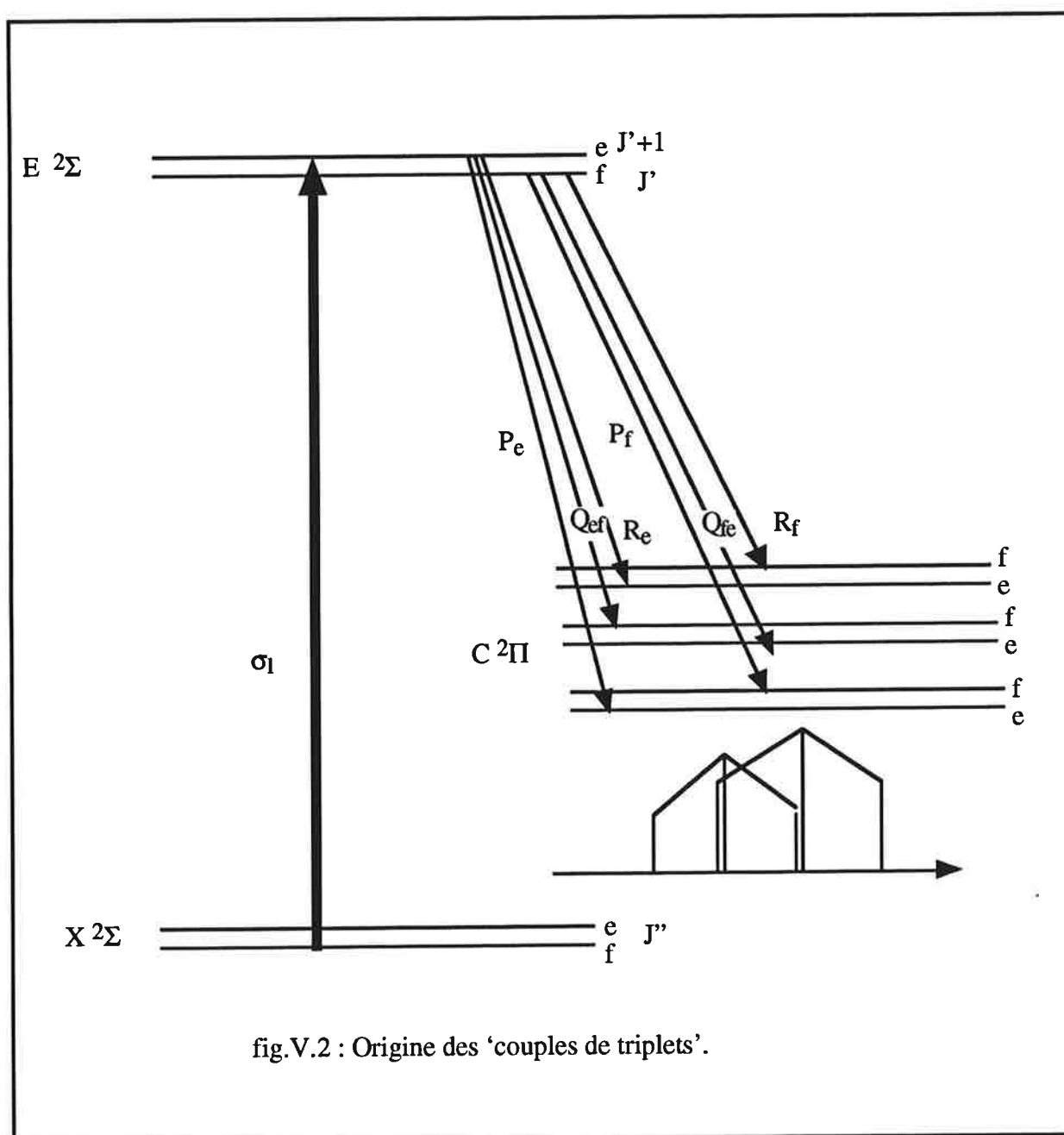


fig.V.2 : Origine des 'couples de triplets'.

### V-1.2 Identification des raies

Cette transition est observée pour la première fois. Chaque bande vibrationnelle contient douze branches rotationnelles principales de type  ${}^2\Sigma_{1/2} - {}^2\Pi_{1/2}$  et  ${}^2\Sigma_{1/2} - {}^2\Pi_{3/2}$ . Les séries de fluorescence appartenant au système E  ${}^2\Sigma - C {}^2\Pi$  ont été attribuées à l'aide des résultats obtenus de l'analyse du système C  ${}^2\Pi - X {}^2\Sigma$ . Nous avons observé un total de quatre vingt deux bandes vibrationnelles y compris celles de l'isotope, avec des séquences variant de  $\Delta v = -3$  à  $\Delta v = 5$ . Les niveaux vibrationnels explorés varient entre 0 et 15 pour l'état E  ${}^2\Sigma$  et de 0 à 20 pour l'état C  ${}^2\Pi$ . Dans le tableau V.1 sont reportés les résultats de ces attributions, les valeurs J', v' et E' des niveaux excités ainsi que celles des niveaux de l'état fondamental sont regroupés par raie laser.

### V-1.3 Dédoublement $\Lambda$ dans l'état C ${}^2\Pi$

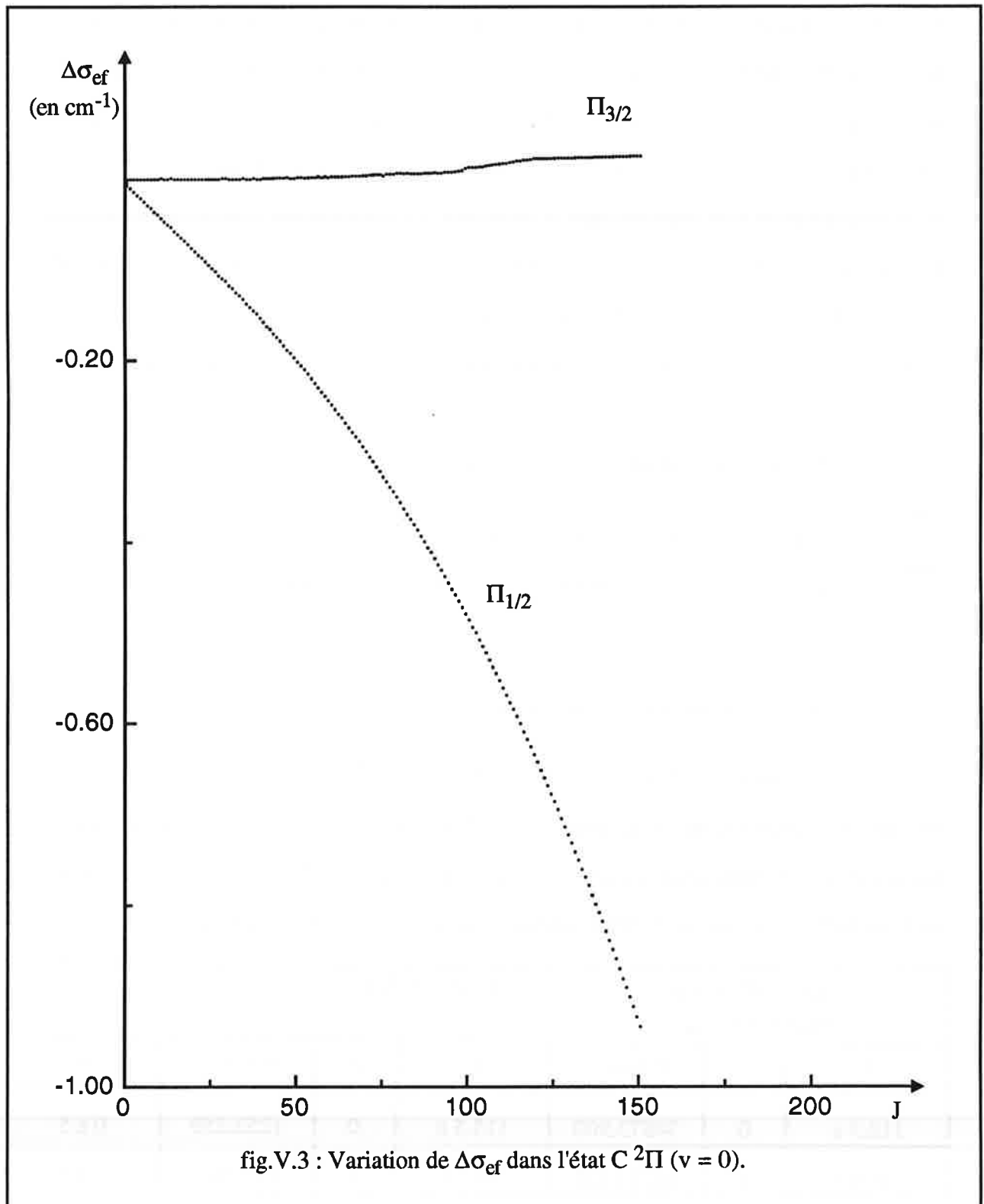
Dans un état  ${}^2\Pi$ , une composante e ou f d'un niveau de rotation est déplacée sous l'effet de la perturbation par des états  ${}^2\Sigma$  voisins. Ce déplacement peut être apprécié même s'il est faible et les paramètres de dédoublement doivent être déduits de la considération des deux sous-états. Nous avons déterminé en fonction de J le dédoublement  $\Lambda$  des deux sous niveaux de l'état C  ${}^2\Pi$  (v' = 0). Pour chaque valeur de J, nous avons calculé la différence des nombres d'ondes  $\Delta\sigma$  relative aux niveaux e et f de l'état C  ${}^2\Pi$ . La figure V.3 représente les variations de  $\Delta\sigma_{ef}$  en fonction de J des deux sous niveaux  ${}^2\Pi_{1/2}$ ,  ${}^2\Pi_{3/2}$ .

La composante  ${}^2\Pi_{3/2}$  présente, comme on s'y attendait, un faible dédoublement  $\Lambda$ . En effet ce dédoublement mesuré pour des valeurs de J inférieures à 100 est nul, puis il croit très lentement pour des valeurs de J supérieures à 100. Ceci signifie qu'au fur et à mesure que J croit les niveaux rotationnels de symétrie e et f s'écartent.

Pour la composante  ${}^2\Pi_{1/2}$ , le dédoublement  $\Lambda$  est visible dès les premières valeurs de J. La quantité  $\Delta\sigma_{ef}$  est négative et décroît d'une façon linéaire, l'énergie des niveaux de symétrie f étant supérieure à celle des des niveaux de symétrie e.

Kr <sup>+</sup> 350.7 nm 28502.83 cm <sup>-1</sup>		E 2Σ - C 2Π				
J'	v'	E'	J''	v''	E''	Δv
178.5 f	8	32400.074	179.5 f	4	3897.414	3 à 5
151.5 f	9	31935.986	152.5 f	5	3433.188	5 à 12
55.5 f	11	30825.495	56.5 f	7	2322.829	6 à 14
110.5* f	10	31201.796	109.5* f	6	2699.110	5 à 12
70.5* e	12	31170.836	71.5* e	8	2668.148	7 à 8
Kr <sup>+</sup> 356.4 nm 28048.54 cm <sup>-1</sup>		E 2Σ - C 2Π				
83.5 e	3	28757.401	82.5 e	0	708.756	0 à 5
67.5* e	5	29100.970	68.5* e	2	1052.403	1 à 6
74.5* f	4	28899.274	73.5* f	1	8514.360	1 à 5
22.5* e	5	28764.972	21.5* e	2	716.399	2 à 3
154.5* f	3	30133.121	155.5* f	0	2084.016	1 à 3
Ar <sup>+</sup> UV 363.8 nm 27480.63 cm <sup>-1</sup>		E 2Σ - C 2Π				
162.5 f	1	29865.860	163.5 f	0	2385.053	0 à 4
97.5 e	2	28673.352	96.5 e	1	1192.704	0 à 6
99.5 e	3	29011.942	100.5 e	2	1531.290	1 à 7
61.5 e	3	28749.492	60.5 e	2	998.564	0 à 7

Tableau V.1



## V-2 Système F $^2\Sigma$ - C $^2\Sigma$

L'excitation des états élevés tels que F  $^2\Sigma$  à l'aide des longueurs d'onde ultraviolettes a pour objectif d'améliorer la connaissance des états inférieurs et de donner un jeu initial des paramètres de l'état F  $^2\Sigma$ . Les spectres sont obtenus par fluorescence à partir des radiations émises par le laser à Krypton ionisé (à 337.5 nm, 335.8 nm, 334.4 nm, 333.6 nm ) et par le laser à Argon ionisé oscillant dans la région ultraviolette. Les caractéristiques de la source et de l'enregistrement sont données dans le chapitre I. La fluorescence a été enregistrée entre 16000  $\text{cm}^{-1}$  à 20000  $\text{cm}^{-1}$  où étaient attendues les transitions F  $^2\Sigma$  - B  $^2\Sigma$ , F  $^2\Sigma$  - C  $^2\Pi$ , F  $^2\Sigma$  - A  $^2\Pi$ . Nous présentons l'analyse du système F  $^2\Sigma$  - C  $^2\Pi$ , les deux autres transitions seront traitées ultérieurement conformément au protocole donné au paragraphe III de ce chapitre.

### V-2.1 Description des spectres

Le spectre se présente sous forme de deux séries de triplets de même structure que celle du système E  $^2\Sigma$  - C  $^2\Pi$ . La même structure est observée, tant pour F  $^2\Sigma$  - C  $^2\Pi_{1/2}$  que pour F  $^2\Sigma$  - C  $^2\Pi_{3/2}$ .

### V-2.2 Identification des raies

Les résultats de l'analyse du système C  $^2\Pi$  - X  $^2\Sigma$  ont servi à l'attribution des séries de fluorescence appartenant au système F  $^2\Sigma$  - C  $^2\Pi$ . Nous avons observé un total de huit bandes vibrationnelles, avec des séquences variant de  $\Delta v = 0$  à  $\Delta v = 5$ . Les niveaux excités de l'état F  $^2\Sigma$  et les niveaux de l'état "pompe" sont regroupés dans le tableau V.2.

Kr <sup>+</sup> 337.5 nm 29621.47 $\text{cm}^{-1}$		F $^2\Sigma$ - C $^2\Pi$				
J'	v'	E' ( $\text{cm}^{-1}$ )	J''	v''	E'' ( $\text{cm}^{-1}$ )	$\Delta v$
116.5 e	0	30873.900	115.5 e	0	1252.359	0 à 5
92.5 f	0	30774.552	93.5 f	0	885.592	4 à 5

Tableau V.2

### V-2.3 Analyse et résultats

L'observation simultanée de la fluorescence vers les sous-niveaux  $C\ ^2\Pi_{1/2}$  et  $C\ ^2\Pi_{3/2}$  dans les systèmes  $E\ ^2\Sigma - C\ ^2\Pi$  et  $F\ ^2\Sigma - C\ ^2\Pi$  nous a permis d'améliorer la connaissance de l'état  $C\ ^2\Pi$ . En effet, avec les informations concernant les termes spectroscopiques des sous états  $C\ ^2\Pi_{1/2}$  et  $C\ ^2\Pi_{3/2}$ , la constante spin-orbite de l'état  $C\ ^2\Pi$  et ses variations ro-vibrationnelles ont pu être déterminées. Les paramètres du dédoublement  $\Lambda$  sont aussi obtenus avec précision. Au total, vingt paramètres de l'état  $C\ ^2\Pi$  ont été obtenus par la méthode d'approche directe en utilisant les matrices hamiltoniennes de  $^2\Pi$  et  $^2\Sigma$ . Ces constantes moléculaires données dans le tableau V.3 seront d'une grande utilité dans la caractérisation des états  $A\ ^2\Pi$ ,  $B\ ^2\Sigma$  et  $A'\ ^2\Delta$ . Les constantes des états  $E\ ^2\Sigma$  et  $F\ ^2\Sigma$  seront données dans le jeu définitif obtenu après le traitement global.

<b>Constantes moléculaires préliminaires de l'état C <math>2\Pi</math></b>	
$T_e$	19116.1627 (47)
$A_e$	388.1494 (14)
$A_D 10^4$	4.0410 (18)
$A_H 10^{11}$	6.75 (35)
$A_v$	2.97582 (48)
$A_{vv} 10^3$	-2.583 (52)
$\omega_e$	282.96521 (83)
$\omega_e x_e$	0.79336 (16)
$\omega_e y_e 10^3$	1.0378 (97)
$B_e 10^2$	8.28524 (16)
$\alpha 10^4$	3.1340 (15)
$\delta 10^7$	0.696 (54)
$D_e 10^8$	2.8899 (59)
$\beta 10^{11}$	-6.09 (16)
$p_e 10^4$	-7.79 (12)
$p_D 10^9$	-5.81 (58)
$p_v 10^5$	-7.74 (26)
$q_e 10^6$	-7.0 (20)
$q_D 10^{10}$	2.84 (69)
$q_v 10^6$	-1.41 (34)

Tableau V.3



## VI- Caractérisation des états $A'^2\Delta$ , $A^2\Pi$ et $B^2\Sigma$

L'utilisation des raies fixes 514.5 nm, 530.9 nm et de quelques raies ultraviolettes des lasers  $Kr^+$  et  $Ar^+$  a permis d'observer les systèmes  $C^2\Pi - B^2\Sigma$ ,  $C^2\Pi - A^2\Pi$ ,  $C^2\Pi - A'^2\Delta$ ,  $F^2\Sigma - B^2\Sigma$  et  $F^2\Sigma - A^2\Pi$  en enregistrant la fluorescence entre 9000  $cm^{-1}$  et 24000  $cm^{-1}$ . L'attribution des niveaux vibrationnels et rotationnels impliqués dans ces systèmes est faite à partir des données précises obtenues précédemment pour l'état  $C^2\Pi$ .

La caractérisation de l'état  $A'^2\Delta$  a été effectuée à partir de l'étude du système  $C^2\Pi - A'^2\Delta$ . L'amélioration de la connaissance de l'état  $A^2\Pi$  a été réalisée par l'étude des systèmes  $C^2\Pi - A^2\Pi$  et  $F^2\Sigma - A^2\Pi$ . Enfin, la caractérisation de l'état  $B^2\Sigma$  a été faite en analysant les systèmes  $C^2\Pi - B^2\Sigma$  et  $F^2\Sigma - B^2\Sigma$ .

Les résultats spectroscopiques des états  $A'^2\Delta$ ,  $A^2\Pi$  et  $B^2\Sigma$  seront le point de départ pour l'étude du "complexe d'états" qui sera traité en détail au chapitre IV.

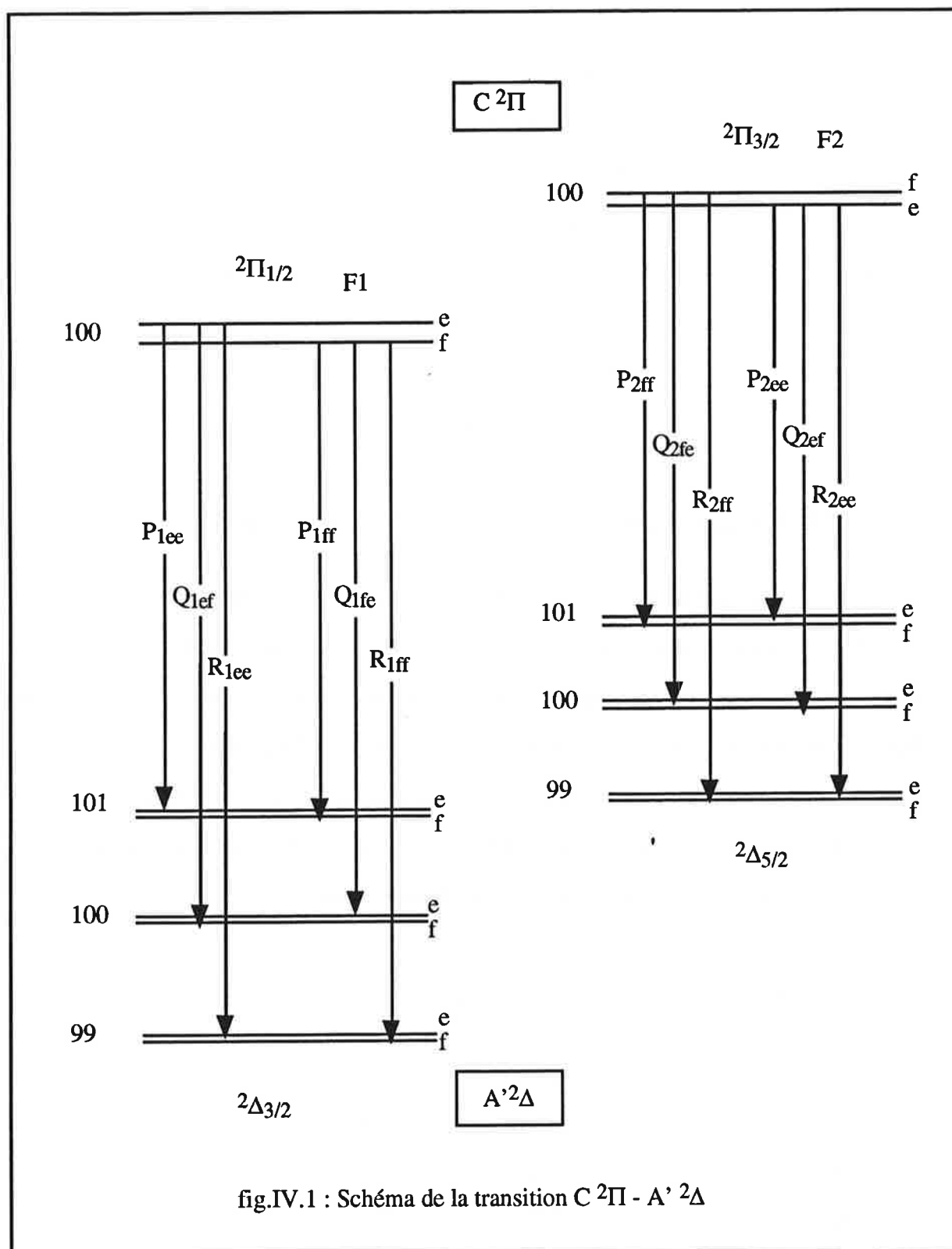
### VI-1 Caractérisation de l'état $A'^2\Delta$ : système $C^2\Pi - A'^2\Delta$

La caractérisation de l'état métastable  $A'^2\Delta$  a été faite seulement pour les deux halogénures d'alcalino-terreux BaF et CaF [21-24]. Dans le cas de la molécule de BaCl, cet état métastable a été observé pour la première fois par Martin et Royen [5], mais l'analyse était restreinte à une seule composante de structure fine :  $A'^2\Delta_{5/2}$ . En 1991, une étude des deux composantes spin-orbite a été faite par Amiot et Vergès [13]. Nous avons donc entrepris l'étude de cet état en analysant le système  $C^2\Pi - A'^2\Delta$  dans le but d'élargir les données expérimentales obtenues par ces deux derniers auteurs.

#### VI-1.1 Description des spectres

L'utilisation des raies laser de  $Kr^+$  à 530.9 nm et de  $Ar^+$  à 514.5 nm ont permis d'observer un spectre de fluorescence intense entre 9500  $cm^{-1}$  et 10500  $cm^{-1}$  correspondant à la transition  $C^2\Pi - A'^2\Delta$ . Chaque bande vibrationnelle contient douze branches rotationnelles principales de type  $^2\Pi_{1/2} - ^2\Delta_{3/2}$  et  $^2\Pi_{3/2} - ^2\Delta_{5/2}$  (fig.VI.1). Le spectre se

présente sous forme de séries de triplets où les raies P, R et Q sont observées avec leur structure habituelle : la raie Q est deux fois plus intense que les raies P et R. Les raies de l'isotope Ba<sup>37</sup>Cl sont aussi observées et ont permis de confirmer les attributions.



La figure VI.2 représente une partie du spectre de la transition  $C^2\Pi_{1/2} - A'^2\Delta_{3/2}$  enregistré entre  $9750\text{ cm}^{-1}$  et  $9830\text{ cm}^{-1}$ . Nous avons noté sur cette figure :

- \* les raies P, Q et R de la bande (9, 10) pour un J de 122.5, e
- \* les raies P, Q et R de la bande (10, 11) pour un J de 75.5, e
- \* les raies P, Q et R de la bande (11, 12) pour un J de 49.5, e
- \* les raies P, Q et R de la bande de l'isotope (9, 10) pour un J de 68.5, e

La figure VI.3 représente une partie du spectre de la transition  $C^2\Pi_{3/2} - A'^2\Delta_{5/2}$  enregistré entre  $9710\text{ cm}^{-1}$  et  $9770\text{ cm}^{-1}$ . Nous avons noté sur cette figure :

- \* les raies P, Q et R de la bande (0, 0) pour un J de 119.5, e
- \* les raies P, Q et R de la bande (0, 0) pour un J de 70.5, f
- \* les raies P, Q et R de la bande de l'isotope (0, 0) pour un J de 122.5, e

### VI-1.2 Identification des raies

La radiation du laser  $Kr^+$  à  $530.9\text{ nm}$  a permis d'exciter des niveaux vibrationnels  $8 \leq v' \leq 17$  de l'état  $C^2\Pi$  et d'observer des bandes de la transition  $C^2\Pi_{1/2} - A'^2\Delta_{3/2}$  faisant intervenir des niveaux vibrationnels élevés de l'état  $A'^2\Delta$  ( $7 \leq v \leq 17$ ).

La raie du laser  $Ar^+$  à  $514.5\text{ nm}$  a permis d'exciter des niveaux vibrationnels  $0 \leq v' \leq 4$  de l'état  $C^2\Pi$  et d'observer des bandes de la transition  $C^2\Pi_{3/2} - A'^2\Delta_{5/2}$  avec  $0 \leq \Delta v \leq 5$ .

Les nombres quantiques de rotation observés dans cette transition couvrent le domaine de 29.5 à 186.5.

Ainsi, soixante six bandes vibrationnelles du système  $C^2\Pi - A'^2\Delta$  ont été étudiées y compris celles de l'isotope  $Ba^{37}Cl$ . Les valeurs des nombres quantiques  $v$  et  $J$  ainsi que celles des énergies des niveaux de l'état excité et de l'état fondamental sont reportées dans le tableau VI.1.

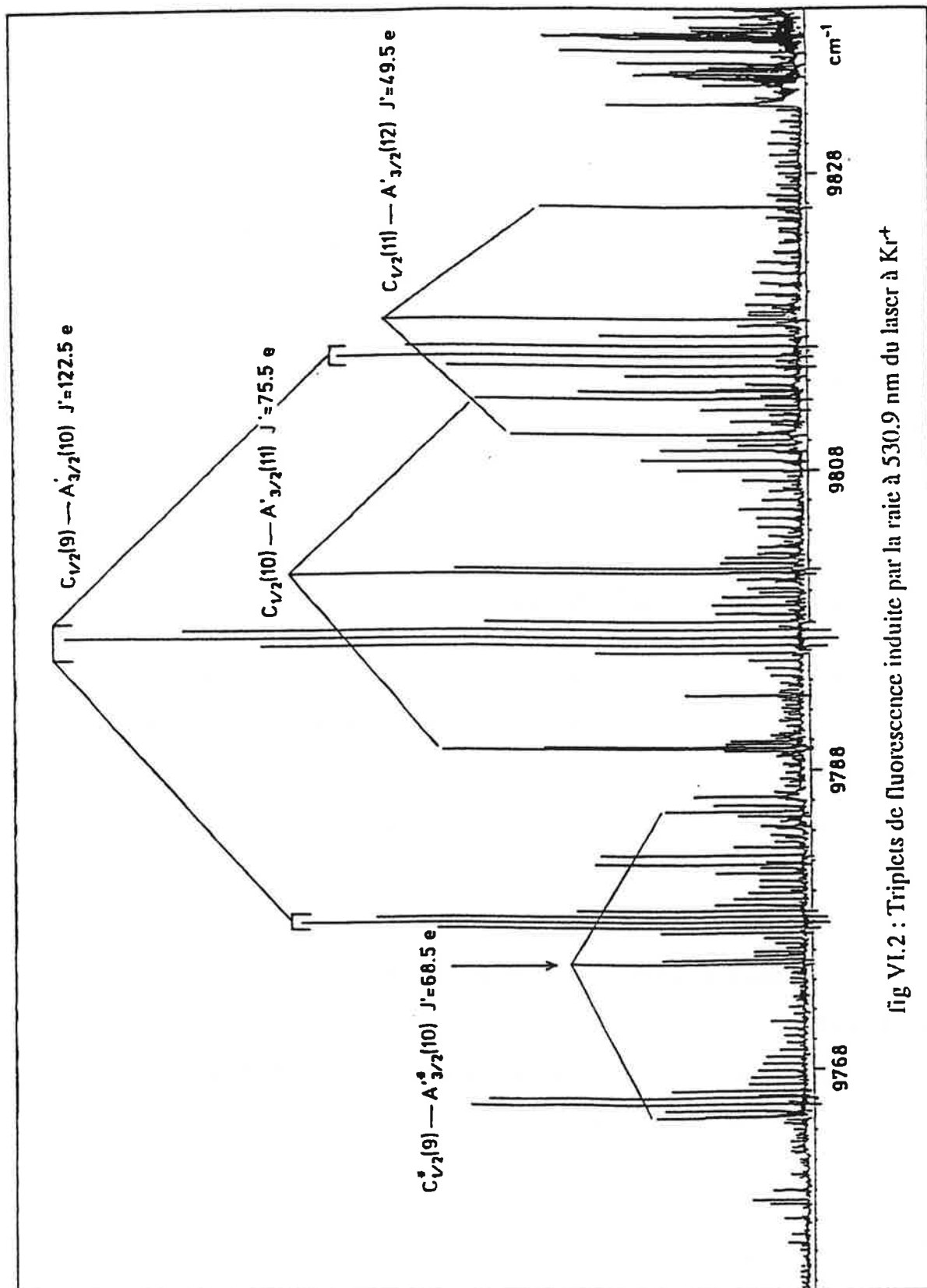


fig VI.2 : Triplets de fluorescence induite par la raie à 530.9 nm du laser à  $\text{Kr}^+$

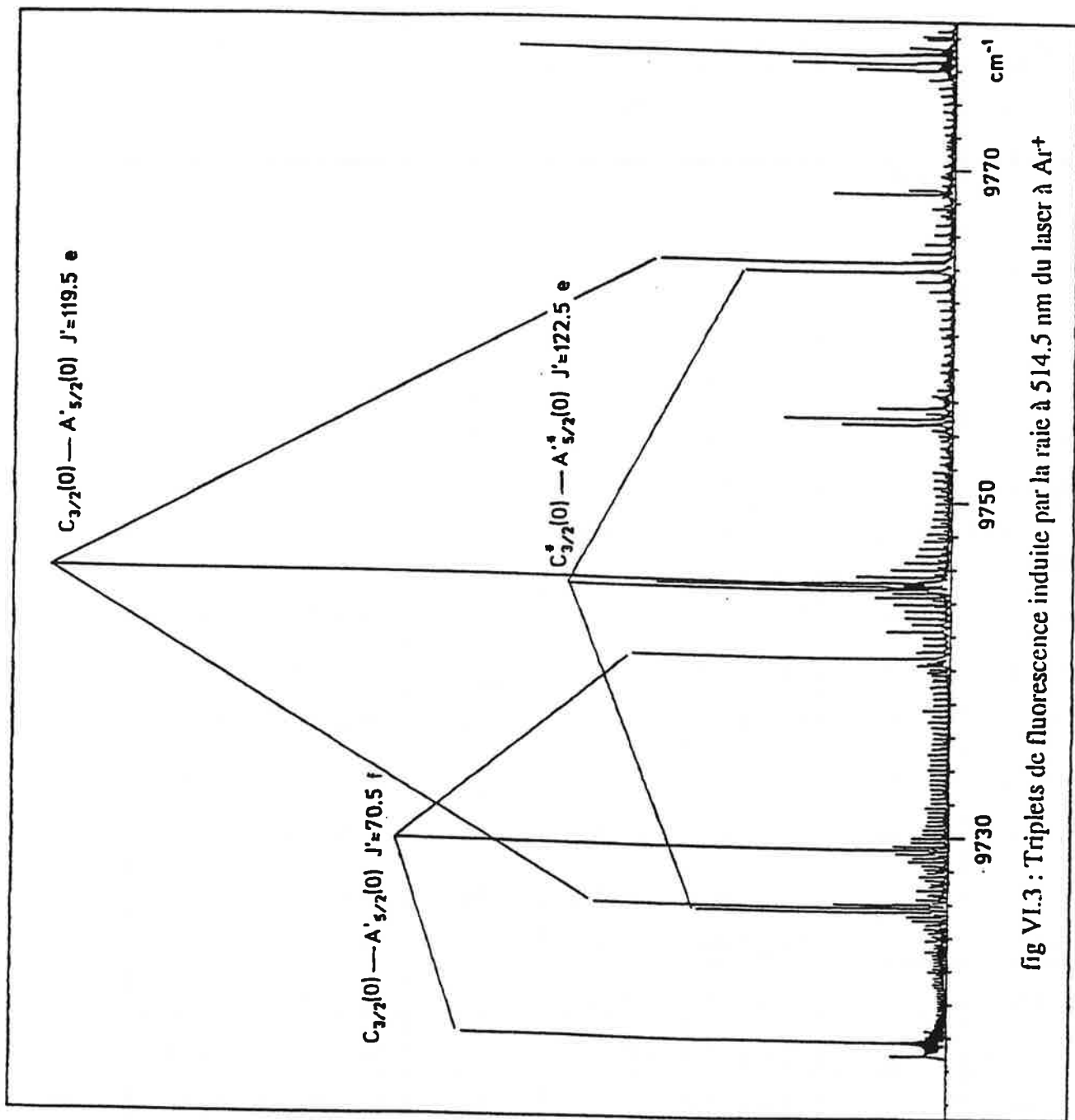


fig VI.3 : Triplets de fluorescence induite par la raie à 514.5 nm du laser à Ar<sup>+</sup>

<b>Ar<sup>+</sup> 514.5 nm</b>		<b>C <sup>2</sup>Π<sub>3/2</sub> - A' <sup>2</sup>Δ<sub>5/2</sub></b>				
<b>19429.79 cm<sup>-1</sup></b>						
J'	v'	E'	J''	v''	E''	Δv
70.5 f	0	20009.062	71.5 f	0	579.302	0 à 1
119.5 e	0	20779.823	120.5 e	0	1350.252	0 à 1
135.5 e	1	21392.615	136.5 e	1	1962.753	0 à 2
95.5 f	2	20911.865	96.5 f	2	1482.098	1 à 3
154.5 e	2	22116.279	154.5 f	2	2686.930	2
107.5 f	3	21387.865	108.5 f	3	1958.009	2 à 4
185.5 e	4	23504.364	186.5 e	4	4074.777	4 à 5
122.5* e	0	20783.081	122.5* f	0	1353.259	0 à 1
139.5* e	1	21404.709	139.5* f	1	1974.846	2
85.5* f	1	20448.663	86.5* f	1	1018.806	2
98.5* f	2	20910.022	99.5* f	2	1480.352	3
<b>Kr<sup>+</sup> 530.9 nm</b>		<b>C <sup>2</sup>Π<sub>1/2</sub> - A' <sup>2</sup>Δ<sub>3/2</sub></b>				
<b>18831.94 cm<sup>-1</sup></b>						
122.5 e	9	22863.753	121.5 e	10	4031.906	7 à 11
181.5 e	9	24271.968	180.5 e	10	5440.106	9 à 12
75.5 e	10	22388.440	74.5 e	11	3556.756	8 à 12
49.5 e	11	22393.070	48.5 e	12	3561.249	9 à 13
117.5 f	14	24061.458	116.5 f	15	5229.463	12 à 16
43.5 e	15	23388.809	43.5 f	16	4556.934	13 à 16
67.5 e	16	23852.891	67.5 f	17	5020.953	14 à 17
88.5 e	17	24360.121	89.5 e	18	5528.278	15 à 17
108.5* e	8	22254.179	107.5* e	9	3422.346	6 à 10
68.5* e	9	21972.642	67.5* e	10	3140.834	8 à 10
67.5* f	12	22735.134	66.5* f	13	3903.194	12 à 14

Tableau VI.1

### VI-1.3 Résultats et analyse

Sept cents raies ont servi de données expérimentales pour déterminer 13 paramètres de l'état A'<sup>2</sup>Δ (Tableau VI.2). L'écart type entre valeurs calculées et valeurs expérimentales est de 3 10<sup>-3</sup> cm<sup>-1</sup>. Les constantes calculées confirment celles obtenues par Amiot et Vergès, en particulier le paramètre de spin-orbite qui était en désaccord avec celui de Martin et Royen [5]. Nous signalons que l'accord entre la valeur de l'énergie A'<sup>2</sup>Δ obtenu par la théorie approchée du champ liant [25] et notre valeur est très satisfaisant. Cela montre la fiabilité de nos attributions et celle du modèle théorique utilisé dans le traitement numérique.

<b>Constantes moléculaires préliminaires de l'état A'<sup>2</sup>Δ</b>	
$T_e$	9361.41188 (25)
$A_e$	239.937 (26)
$A_D 10^5$	4.591 (24)
$A_v$	0.6138 (30)
$\omega_e$	260.3402 (21)
$\omega_e x_e$	0.81596 (63)
$\omega_e y_e 10^3$	1.311 (56)
$B_e 10^2$	8.13441 (16)
$\alpha 10^4$	3.4486 (156)
$\delta 10^7$	2.38 (21)
$D_e 10^8$	3.2008 (68)
$\beta 10^{10}$	-1.105 (55)
$H_e 10^{15}$	8.0(13)

Tableau VI.2

## VI-2 Caractérisation de l'état A $^2\Pi$ : systèmes C $^2\Pi$ - A $^2\Pi$ et F $^2\Sigma$ - A $^2\Pi$

Dans les spectres de fluorescence induite à partir de l'état C  $^2\Pi$ , nous avons observé pour la première fois la transition C  $^2\Pi$  - A  $^2\Pi$ . Ces spectres enregistrés entre 8000  $\text{cm}^{-1}$  et 9500  $\text{cm}^{-1}$  ont été obtenus par excitations sélectives de l'état fondamental avec les raies des lasers à Argon et à Krypton ionisés à 514.5 nm et 530.9 nm.

Par ailleurs, la raie du Krypton ionisé à 337.5 nm et les raies ultraviolettes du laser Argon ionisé ont permis d'accéder à l'état F  $^2\Sigma$  et d'obtenir une fluorescence entre 9000  $\text{cm}^{-1}$  et 10500  $\text{cm}^{-1}$ . Cette fluorescence est attribuée à la transition F  $^2\Sigma$  - A  $^2\Pi$ . L'étude de ces deux systèmes a pour objectif de connaître les niveaux rotationnels et vibrationnels et calculer les constantes spectroscopiques de l'état A  $^2\Pi$ .

### VI-2.1 Description des spectres

Le spectre du système C  $^2\Pi$  - A  $^2\Pi$  se présente sous forme de doublets. Un exemple de spectre de ce système est donné sur la figure VI.4. C'est une partie du spectre de la transition C  $^2\Pi_{3/2}$  - A  $^2\Pi_{3/2}$  induite par la raie laser Argon ionisé à 514.5 nm. Elle montre six doublets avec leurs attributions en nombres quantiques rotationnels et vibrationnels. Une excitation simultanée de deux niveaux rotationnels voisins est observée, dans le cas de  $J'=118.5$  e, 119.5 e dans la bande C  $^2\Pi_{3/2}$  ( $v'=0$ ) - A  $^2\Pi_{3/2}$  ( $v''=0$ ) et  $J'=135.5$  e, 136.5 e dans la bande vibrationnelle C  $^2\Pi_{3/2}$  ( $v'=1$ ) - A  $^2\Pi_{3/2}$  ( $v''=1$ ). En effet la largeur spectrale du laser multimode est suffisante pour tomber en coincidence avec deux transitions correspondant à des niveaux de même parité, les valeurs de J différant d'une unité. De nombreuses raies de relaxations rotationnelles sont observées au voisinage des raies principales. Les raies de fluorescence du système F  $^2\Sigma$  - A  $^2\Pi$  présentent les mêmes caractéristiques que celles des transitions E  $^2\Sigma$  - C  $^2\Pi$  et F  $^2\Sigma$  - C  $^2\Pi$ . La figure VI.5 représente une portion de spectre du système F  $^2\Sigma$  - A  $^2\Pi_{3/2}$  induit par la raie laser Krypton ionisé à 337.5 nm. Nous avons noté sur les P, Q et R de la bande (1,4) pour un  $J = 92.5$ , f.



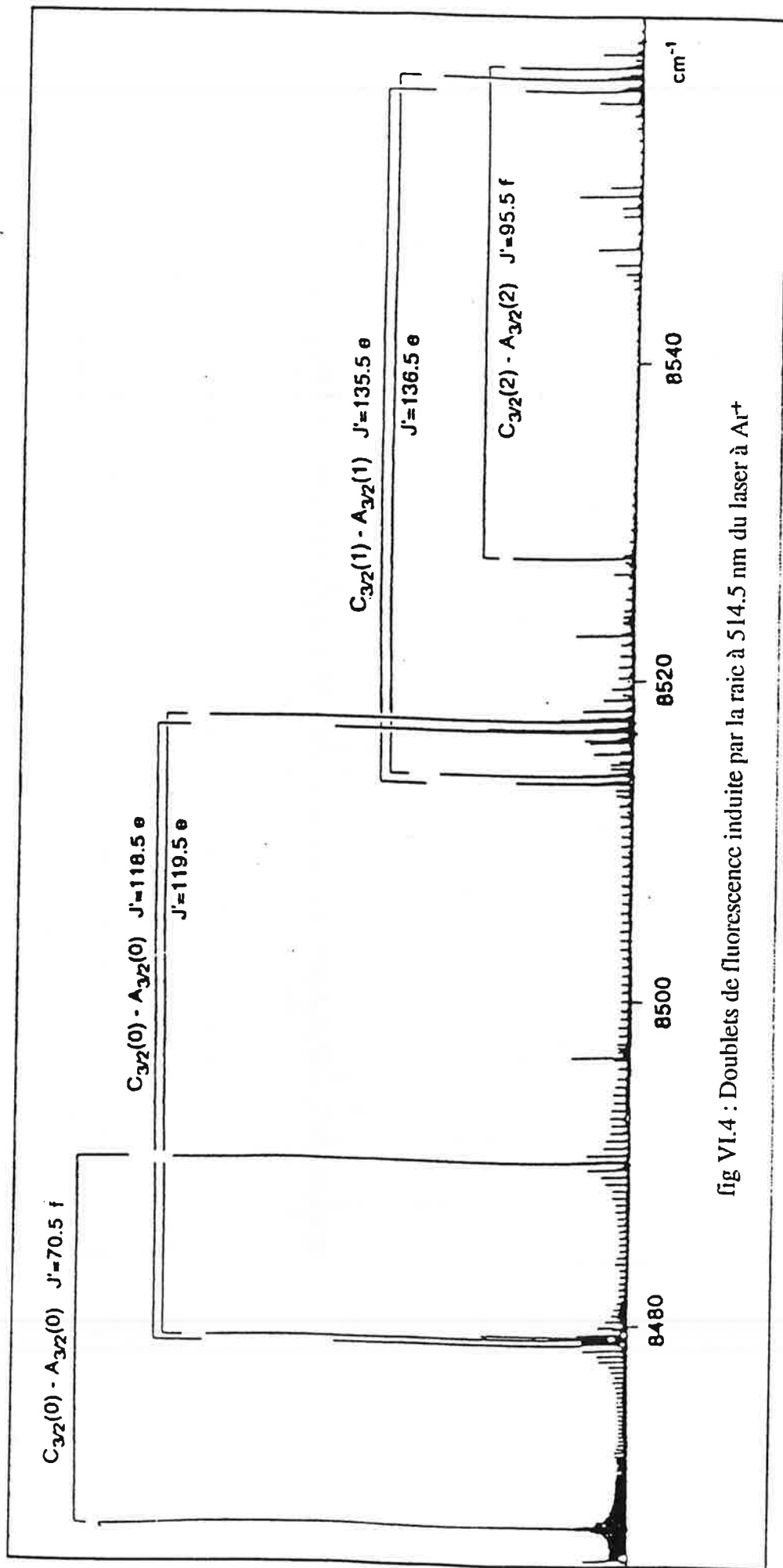


fig VI.4 : Doublets de fluorescence induite par la raie à 514.5 nm du laser à  $\text{Ar}^+$

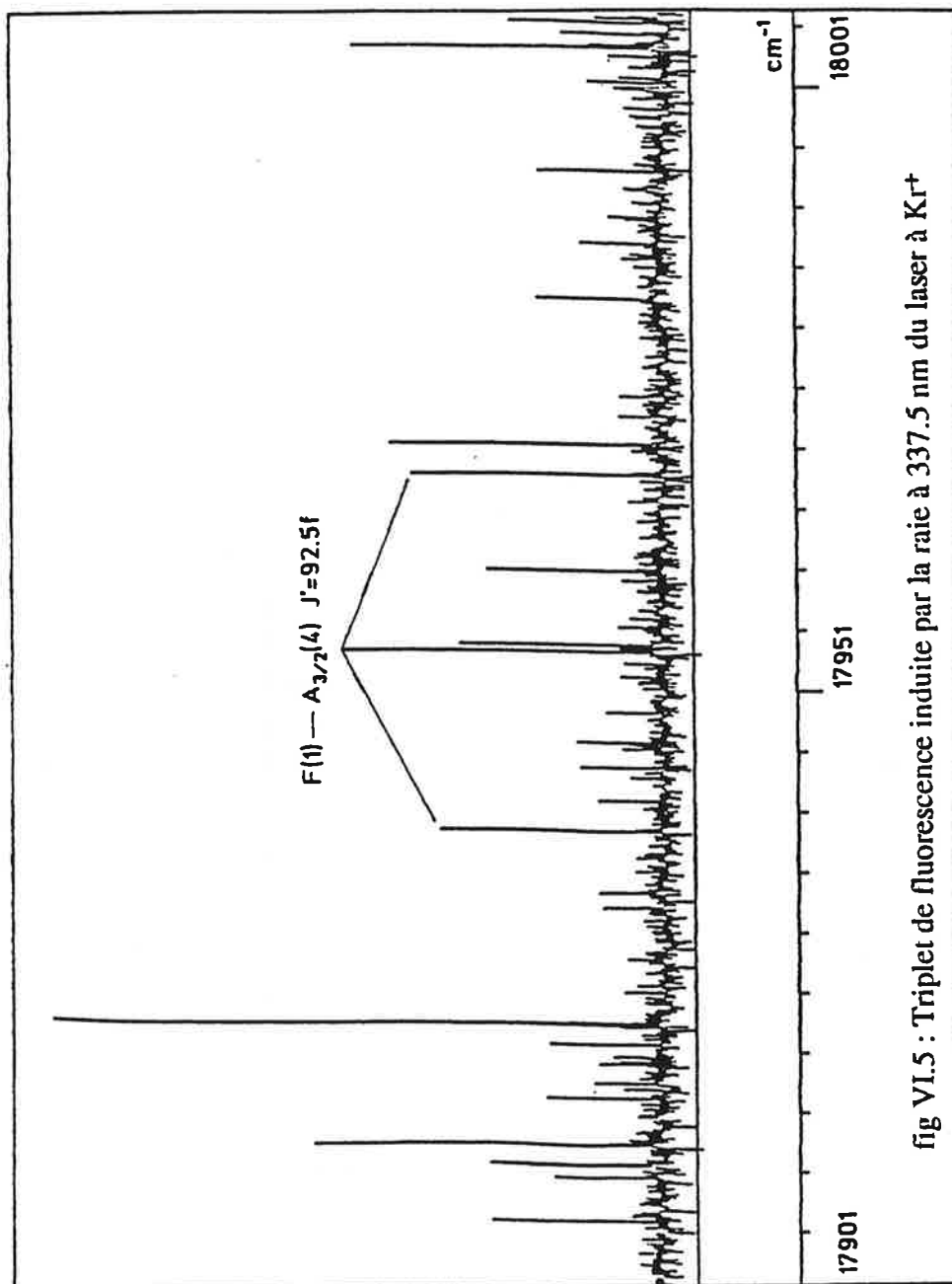


fig VI.5 : Triplet de fluorescence induite par la raie à 337.5 nm du laser à Kr<sup>+</sup>

### VI-2.2 Identification des raies

A partir des spectres de la transition C  $^2\Pi$  - A  $^2\Pi$ , nous avons pu obtenir un grand nombre d'informations expérimentales qui viennent s'ajouter à celles des autres systèmes déjà traités dans ce travail (Tableau VI.3). La procédure d'identification des niveaux de ce système a été facilitée par la connaissance des nombres quantiques de rotation J des niveaux de C  $^2\Pi$ . 52 bandes ont été identifiées, la plus grande valeur du nombre quantique J atteignant 169.5.

Les séries observées dans le système F  $^2\Sigma$  - A  $^2\Pi$  sont peu nombreuses (Tableau VI.4) mais seront très utiles dans la caractérisation de l'état A  $^2\Pi$  lors du traitement simultané de toutes les données.

Ar <sup>+</sup> 514.5 nm 19429.79 cm <sup>-1</sup> C $^2\Pi_{3/2}$ - A $^2\Pi$						
J'	v'	E'	J''	v''	E''	$\Delta v$
70.5 f	0	20009.062	71.5 f	0	579.302	0 à 1
119.5 e	0	20779.823	120.5 e	0	1350.252	0 à 1
135.5 e	1	21392.615	136.5 e	1	1962.753	0 à 2
154.5 e	2	22116.279	154.5 f	2	2686.930	2
95.5 f	2	20911.865	96.5 f	2	1482.098	1 à 3
107.5 f	3	21387.865	108.5 f	3	1958.009	2 à 4
169.5 e	3	22780.613	169.5 f	3	3350.836	3 à 4
122.5* e	0	20783.081	122.5* f	0	1353.259	0
85.5* f	1	20448.663	86.5* f	1	1018.806	0 à 1
139.5* e	1	21404.709	139.5* f	1	1974.846	0 à 1
98.5* f	2	20910.022	99.5* f	2	1480.352	1

Tableau VI.3

Kr <sup>+</sup> 530.9 nm 18831.94 cm <sup>-1</sup>						
C <sup>2</sup> Π <sub>1/2</sub> - A <sup>2</sup> Π						
J'	v'	E'	J''	v''	E''	Δv
122.5 e	9	22863.753	121.5 e	10	4031.906	8 à 11
75.5 e	10	22388.440	74.5 e	11	3556.756	9 à 11
49.5 e	11	22393.070	48.5 e	12	3561.249	10 à 13
117.5 f	14	24061.458	116.5 f	15	5229.463	13 à 15
43.5 e	15	23388.809	43.5 f	16	4556.934	14 à 16
156.5 f	15	25137.621	155.5 f	16	6306.036	15 à 17
67.5 e	16	23852.891	67.5 f	17	5020.953	15 à 17
88.5 e	17	24360.121	89.5 e	18	5528.278	16 à 18
108.5* e	8	22254.179	107.5* e	9	3422.346	7
68.5* e	9	21972.642	67.5* e	10	3140.834	8
29.5* f	12	22454.911	28.5* f	13	3623.051	11 à 14
67.5* f	12	22735.134	66.5* f	13	3903.194	11

Tableau VI.3 (suite)

Ar <sup>+</sup> UV 22889.31 cm <sup>-1</sup>						
F <sup>2</sup> Σ - A <sup>2</sup> Π						
J'	v'	E'	J''	v''	E''	Δv
65.5 f	1	30387.694	64.5 f	0	498.637	0 à 8
92.5 f	1	30774.552	93.5 f	0	885.592	0 à 8
Kr <sup>+</sup> 337.5 nm 29621.47 cm <sup>-1</sup>						
116.5 e	0	30873.900	115.5 e	0	1252.359	0 à 7

Tableau VI.4

### VI-2.3 Résultats et analyse

L'étude des deux systèmes C  $^2\Pi$  - A  $^2\Pi$  et F  $^2\Sigma$  - A  $^2\Pi$  nous a fourni deux jeux de paramètres de l'état A  $^2\Pi$ , l'un en corrélation avec les paramètres de l'état F  $^2\Sigma$ , l'autre en corrélation avec les paramètres de l'état C  $^2\Pi$ . Les deux ensembles de valeurs sont en bon accord. Cependant les nouvelles données expérimentales du système C  $^2\Pi$  - A  $^2\Pi$  ont permis une étude plus poussée de l'état A  $^2\Pi$ , et ont donné des constantes spectroscopiques fiables pour cet état sur un domaine plus étendu de niveaux vibrationnels. Aussi, dans cette étude préliminaire, nous donnerons seulement les résultats obtenus à partir de la transition C  $^2\Pi$  - A  $^2\Pi$ . Toutefois, dans le traitement global, toutes les transitions seront prises en compte en vue de déterminer simultanément tous les paramètres des états mis en jeu.

Les constantes moléculaires de l'état A  $^2\Pi$  calculées par la méthode d'approche directe, sont données dans le tableau VI.5. Cinq cent nombres d'ondes de la transition C  $^2\Pi$  - A  $^2\Pi$  ont été mesurés y compris ceux de l'isotope Ba $^{37}\text{Cl}$ . L'écart quadratique moyen obtenu est  $3.10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ .

<b>Constantes moléculaires préliminaires de l'état A <math>2\Pi</math></b>	
$T_e$	10539.1534 (51)
$A_e$	632.7123 (29)
$A_D 10^4$	-7.804 (22)
$A_v$	-0.6974 (12)
$A_{vv} 10^3$	8.13 (15)
$\omega_e$	257.2791 (14)
$\omega_e x_e$	0.80460 (28)
$\omega_e y_e 10^3$	1.190 (19)
$B_e 10^2$	8.10736 (32)
$\alpha 10^4$	3.4740 (13)
$\delta 10^7$	0.57 (11)
$D_e 10^8$	3.2535 (43)
$\beta 10^{11}$	0.46 (10)
$p_e$	-0.162939 (67)
$p_D 10^7$	1.011 (49)
$p_v 10^4$	5.256 (59)
$q_e 10^5$	4.62 (57)

Tableau VI.5

### **VI-3 Caractérisation de l'état B $2\Sigma$ : systèmes C $2\Pi$ - B $2\Sigma$ et F $2\Sigma$ - B $2\Sigma$**

La caractérisation de l'état B  $2\Sigma$  a été réalisée par l'étude des systèmes C  $2\Pi$  - B  $2\Sigma$  et F  $2\Sigma$  - B  $2\Sigma$ .

La transition C  $2\Pi$  - B  $2\Sigma$  a été observée pour la première fois dans les spectres de fluorescence induite par les raies 514.5 nm et 530.9 nm des lasers Kr<sup>+</sup> et Ar<sup>+</sup> à partir de l'état C  $2\Pi$ . Le domaine spectral d'enregistrement s'étend de 6500 cm<sup>-1</sup> à 8000 cm<sup>-1</sup>.

la transition  $F\ 2\Sigma - B\ 2\Sigma$  est observée dans les spectres de fluorescence induite par les raies ultraviolettes du laser  $Ar^+$  et la raie du laser  $Kr^+$  à 337.5 nm à partir de l'état  $F\ 2\Sigma$ .

### VI-3.1 Description des spectres

Les séries du système  $C\ 2\Pi - B\ 2\Sigma$  se présentent sous forme de triplets  $P(J - 1)$ ,  $Q(J)$  et  $R(J + 1)$ , la branche  $Q(J)$  apparaissant plus intense que les deux autres branches. Des raies de relaxation rotationnelle sont observées autour des raies principales.

La figure VI.6 représente une partie du spectre enregistrée entre  $6730\text{ cm}^{-1}$  et  $6810\text{ cm}^{-1}$  induit par la raie du Krypton à 530.9 nm. Nous avons noté sur cette figure :

- \* les raies P, Q et R de la bande (9, 12) pour un J de 122.5, e;
- \* les raies P, Q et R de la bande (10, 13) pour un J de 75.5, e;
- \* les raies P, Q et R de la bande (11, 14) pour un J de 49.5, e.

La figure VI.7 représente une partie du spectre de la transition  $C\ 2\Pi_{3/2} - B\ 2\Sigma$  enregistrée entre  $7580\text{ cm}^{-1}$  et  $7680\text{ cm}^{-1}$ . Nous avons noté sur cette figure :

- \* les raies P, Q et R de la bande (0, 0) pour un J de 119.5, e;
- \* les raies P, Q et R de la bande (2, 2) pour un J de 95.5, f.

Comme pour le système  $B\ 2\Sigma - X\ 2\Sigma$ , les quatre branches possibles prévues pour une transition  $2\Sigma - 2\Sigma$  obéissant au cas a) de Hund ont été observées pour le système  $F\ 2\Sigma - B\ 2\Sigma$ . Le spectre de fluorescence se présente donc sous forme de doublets. Les raies les plus intenses sont accompagnées de nombreuses raies rotationnelles de relaxation provenant des niveaux supérieurs de rotation voisins du niveau principal. Les raies Q de faible intensité ont été mises en évidence, ainsi nous pouvons confirmer le mélange de l'état  $B\ 2\Sigma$  avec l'état  $A\ 2\Pi$ . En effet les raies Q sont observées simultanément dans les spectres des transitions  $B\ 2\Sigma - X\ 2\Sigma$  et  $F\ 2\Sigma - B\ 2\Sigma$ . Une dépendance en J des intensités des raies Q n'a pas été observée.

La figure VI.7 représente un exemple de spectre induit par la raie du Krypton à 337.5 nm enregistré entre  $17490\text{ cm}^{-1}$  et  $17560\text{ cm}^{-1}$ .

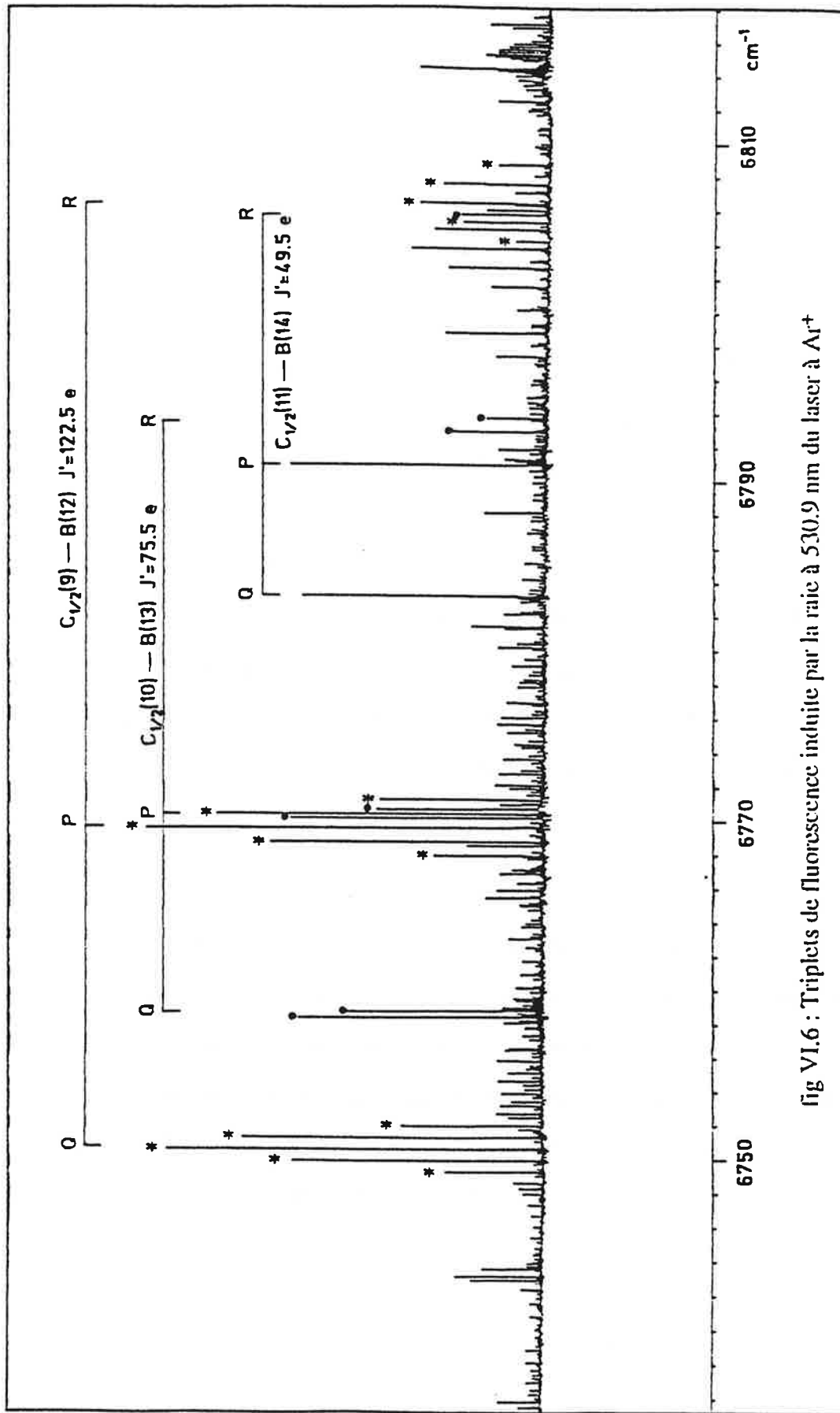


fig VI.6 : Triplets de fluorescence induite par la raie à 530.9 nm du laser à Ar<sup>+</sup>



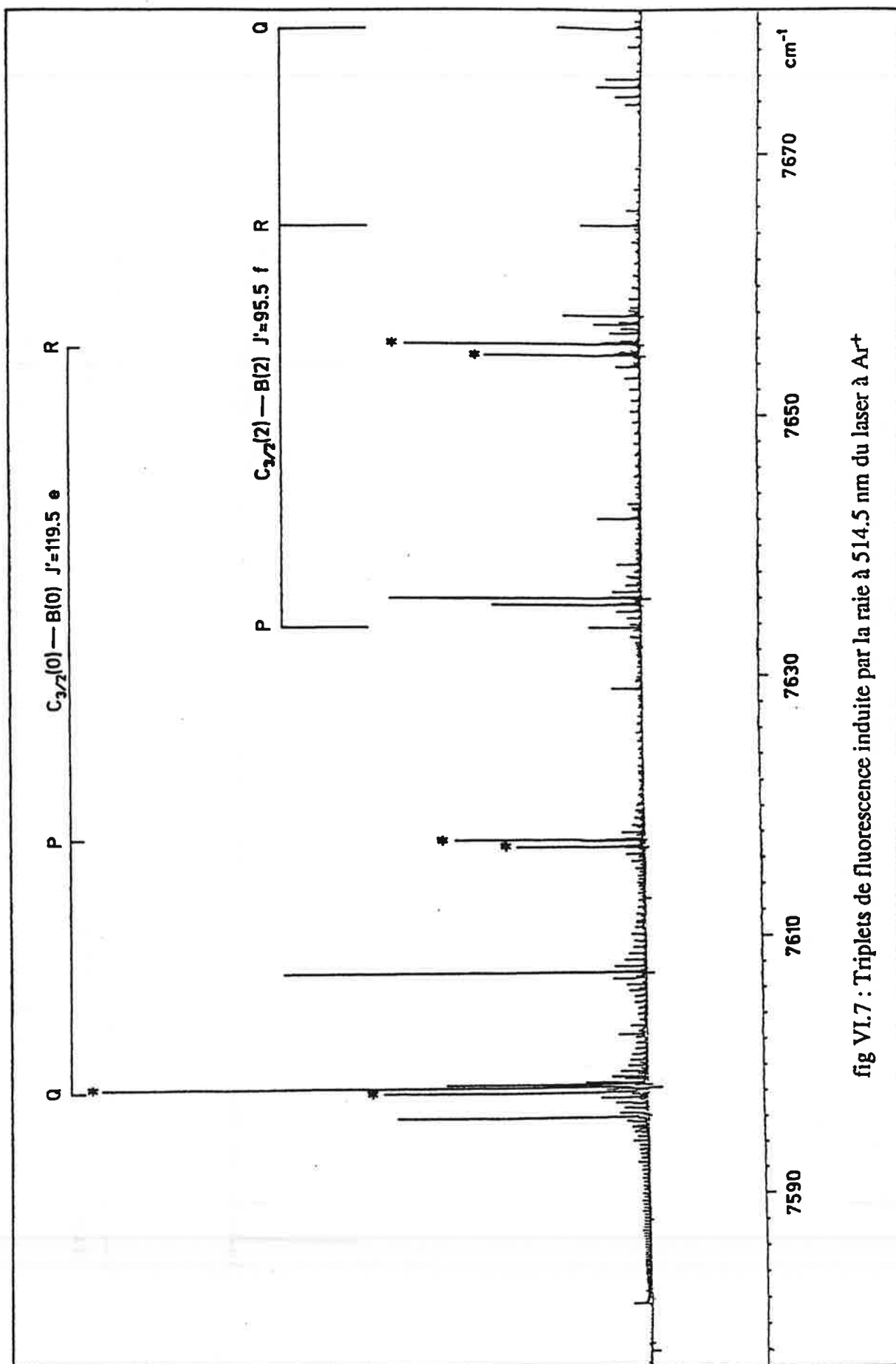


fig VI.7 : Triplets de fluorescence induite par la raie à 514.5 nm du laser à Ar<sup>+</sup>

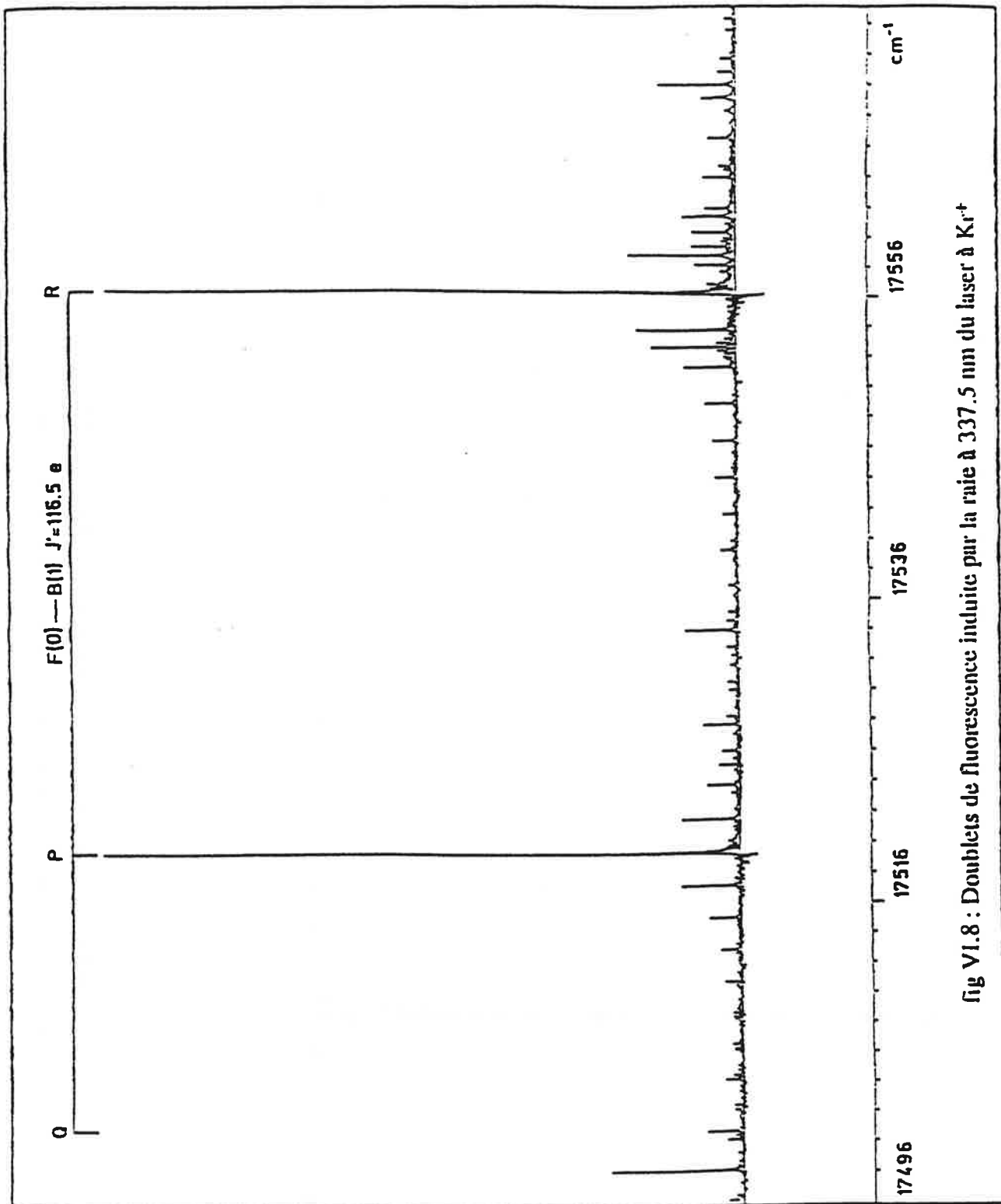


fig VI.8 : Doublets de fluorescence induite par la raie à 337.5 nm du laser à  $\text{Kr}^+$

### VI-3.2 Identification des raies

Les raies 514.5 nm du laser à Argon ionisé et 530.9 nm du laser à Krypton ionisé ont induit quinze séries appartenant à la transition  $C\ ^2\Pi - B\ ^2\Sigma$ . Au total 56 bandes vibrationnelles ont été observées avec une bonne extension de niveaux rotationnels et vibrationnels. Le tableau VI.6 présente les résultats des attributions.

Pour le système  $F\ ^2\Sigma - B\ ^2\Sigma$ , trente trois bandes vibrationnelles ont été observées. Les séquences varient de  $\Delta v = -2$  à  $\Delta v = 10$ , les niveaux vibrationnels explorés varient entre 0 et 10 pour l'état  $B\ ^2\Sigma$  et de 0 à 3 pour l'état  $F\ ^2\Sigma$ . Les résultats de ces attributions sont reportés dans le tableau VI.7 où les niveaux excités ainsi que les niveaux de l'état fondamental sont regroupés par raie laser.

### VI-3.3 Résultats et analyse

Pour le traitement numérique, nous avons utilisé le programme qui a servi pour les autres transitions et dont le principe est donné dans le paragraphe III. Les expressions des niveaux d'énergie sont issues des matrices des états  $^2\Pi$  et  $^2\Sigma$  établies à l'aide des opérateurs définis au chapitre II. D'une manière générale, les constantes moléculaires de l'état  $B\ ^2\Sigma$  calculées à partir des données expérimentales des transitions  $F\ ^2\Sigma - B\ ^2\Sigma$  et  $C\ ^2\Pi - B\ ^2\Sigma$  concordent, et leurs écarts types restent dans des limites satisfaisantes. Dans le tableau VI.7 sont reportées les valeurs des paramètres de l'état  $B\ ^2\Sigma$  qui ont été retenues.

Ar <sup>+</sup> 514.5 nm 19429.79 cm <sup>-1</sup> C 2Π <sub>3/2</sub> - B 2Σ						
J'	v'	E'	J''	v''	E''	Δv
70.5 f	0	20009.062	71.5 f	0	579.302	0 à 1
119.5 e	0	20779.829	120.5 e	0	1350.252	0 à 1
135.5 e	1	21392.615	136.5 e	1	1962.753	0 à 2
95.5 f	2	20911.865	96.5 f	2	10482.098	1 à 3
107.5 f	3	21387.865	108.5 f	3	1958.009	2 à 4
Kr <sup>+</sup> 530.9 nm 18831.94 cm <sup>-1</sup> C 2Π <sub>1/2</sub> - B 2Σ						
122.5 e	9	22863.753	121.5 e	10	4031.906	7 à 12
181.5 e	9	24271.970	180.5 e	10	5440.106	12
75.5 e	10	22388.563	74.5 e	11	3556.756	8 à 13
49.5 e	11	22393.070	48.5 e	12	3561.249	9 à 13
117.5 f	14	24061.460	116.5 f	15	5229.463	11 à 15
43.5 e	15	23388.809	43.5 f	16	4556.934	14 à 16
108.5* e	8	22254.180	107.5* e	9	3422.346	6 à 7
29.5* f	12	22454.911	28.5* f	13	3623.051	11 à 16
49.5* f	12	22575.395	48.5* f	13	3743.224	12 à 14
67.5* f	12	22735.135	66.5* f	13	3903.194	12 à 17

Tableau VI.6

Ar <sup>+</sup> UV		F <sup>2</sup> Σ - B <sup>2</sup> Σ				
29889.31 cm <sup>-1</sup>						
J'	v'	E'	J''	v''	E''	Δv
65.5 f	1	30387.694	64.5 f	0	498.637	0 à 10
92.5 f	1	30774.552	93.5 f	0	885.592	0 à 10
Kr <sup>+</sup> 337.5 nm						
29621.47 cm <sup>-1</sup>						
116.5 e	0	30873.900	115.5 e	0	1252.359	0 à 8

Tableau VI.7

Constantes moléculaires préliminaires de l'état B <sup>2</sup> Σ	
T <sub>e</sub>	11739.8065 (12)
ω <sub>e</sub>	255.52291 (75)
ω <sub>e</sub> x <sub>e</sub>	0.835591 (80)
ω <sub>e</sub> y <sub>e</sub> 10 <sup>3</sup>	1.3481 (32)
B <sub>e</sub> 10 <sup>2</sup>	8.08663 (12)
α 10 <sup>4</sup>	3.59709 (75)
δ 10 <sup>7</sup>	2.11 (10)
ε 10 <sup>8</sup>	1.16 (11)
η 10 <sup>10</sup>	-3.42 (40)
D <sub>e</sub> 10 <sup>8</sup>	3.2508 (42)
β 10 <sup>11</sup>	2.79 (16)
H <sub>e</sub> 10 <sup>15</sup>	-1.83 (24)
γ <sub>e</sub>	-0.159230 (16)
γ <sub>v</sub> 10 <sup>4</sup>	4.1637 (95)
γ <sub>D</sub> 10 <sup>8</sup>	3.76 (16)
γ <sub>H</sub> 10 <sup>13</sup>	3.39 (51)

Tableau VI.8

## VII- Traitement global de tous les nombres d'ondes - Résultats

Dans le paragraphe III, nous avons donné les avantages du traitement global. La méthode numérique utilisée qui consiste à comparer directement les observations expérimentales (nombres d'ondes des raies) à l'outil théorique (matrice hamiltonienne) a permis de tenir compte des corrélations existant entre divers paramètres, permettant ainsi une estimation des incertitudes associées à ces paramètres. L'ajustement global incluant dans le calcul les nombres d'ondes de toutes les raies observées nécessite un grand nombre d'informations sur les transitions prises en compte, un modèle théorique adéquat et des moyens de calcul performants. En outre, il faut avoir une homogénéité des données car une inadéquation de données ou du modèle théorique pour une partie des observations se répercute sur tous les résultats. Il faut rappeler aussi que le traitement global n'a d'intérêt que si les niveaux sont connectés. Toutes ces conditions ont été satisfaites, 8000 nombres d'ondes ont servi de données expérimentales. Les nombres d'ondes de l'isotope Ba<sup>37</sup>Cl sont aussi introduites dans le calcul. L'écart quadratique moyen atteint dans ce calcul après trois itérations est de  $4 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ .

Il est par ailleurs important de noter l'intérêt de la démarche suivie dans l'étude de la molécule de BaCl. En effet, les constantes moléculaires obtenues à partir des traitements préliminaires ont joué un rôle très important dans le traitement global pour résoudre les problèmes de convergence et pour limiter le nombre des essais. Il est intéressant de comparer les résultats obtenus pour les paramètres moléculaires par les deux types de traitements. Nous remarquerons tout d'abord une bonne concordance entre eux. Toutefois les constantes obtenues à l'aide du traitement global apparaissent plus précises que celles fournies par les traitements préliminaires.

Les paramètres moléculaires déduits simultanément pour les états X <sup>2</sup>Σ, A' <sup>2</sup>Δ, A <sup>2</sup>Π, B <sup>2</sup>Σ, C <sup>2</sup>Π, E <sup>2</sup>Σ et F <sup>2</sup>Σ sont regroupés dans les tableaux VII.1, VII.2, VII.3, VII.4, VII.5, VII.6 et VII.7 respectivement.

Pour l'état X <sup>2</sup>Σ, nous avons amélioré la valeur de la plupart des constantes moléculaires

avec une précision meilleure que celle des études antérieures (Tableau VII.1). En effet, l'étude micro-ondes [4] était limitée à des  $J$  ne dépassant pas 58.5, des  $v$  allant seulement à 4 et à quelques données expérimentales. Pour l'état  $A' \ ^2\Delta$ , nous avons déterminé des nouvelles constantes moléculaires, en particulier la constante spin-orbite. En effet les données expérimentales que nous possédons pour les deux transitions  $C \ ^2\Pi_{1/2} - A' \ ^2\Delta_{3/2}$  et  $C \ ^2\Pi_{3/2} - A' \ ^2\Delta_{5/2}$  d'une part, et le traitement simultané de toutes les données que nous avons utilisé, d'autre part ont permis d'obtenir un meilleur triplet des constantes spin-orbite des états  $A' \ ^2\Delta$ ,  $A \ ^2\Pi$  et  $C \ ^2\Pi$ . La constante spin-orbite de l'état  $A' \ ^2\Delta$  obtenue est en bon accord avec celle obtenue par Amiot et Vergès [13] alors qu'il y a une différence de  $60 \text{ cm}^{-1}$  avec celle de Martin *et al.* [5]. Ceci est dû certainement à l'analyse restreinte à une seule composante de l'état  $A' \ ^2\Delta$ . Une comparaison avec le travail de Martin *et al.* est donnée dans le tableau VII.2. Par ailleurs nous avons amélioré d'autres paramètres notamment ceux du dédoublement  $\Lambda$  qui ont été déterminés ainsi que leurs variations. Pour les états  $A \ ^2\Pi$  et  $C \ ^2\Pi$ , une meilleure précision pour la plupart des constantes moléculaires décrivant les deux états a été obtenue. Une comparaison avec les constantes de l'état  $A \ ^2\Pi$  obtenus par Gustavsson *et al.* [8] est donnée dans le Tableau VII.3. Pour les états  $B \ ^2\Sigma$ ,  $E \ ^2\Sigma$  et  $F \ ^2\Sigma$ , un jeu cohérent de paramètres est obtenu.

Les constantes moléculaires obtenues ont été utilisées pour construire les courbes de potentiel par la méthode R.K.R (cf.chap.II) pour des niveaux vibrationnels allant de 0 à 20 pour les états  $X \ ^2\Sigma$ ,  $A' \ ^2\Delta$ ,  $A \ ^2\Pi$ ,  $B \ ^2\Sigma$ ,  $C \ ^2\Pi$ ,  $E \ ^2\Sigma$  et de 0 à 5 pour l'état  $F \ ^2\Sigma$ . Le programme fournit les valeurs de l'énergie (en  $\text{cm}^{-1}$ ) pour chaque niveau de vibration des états étudiés, les valeurs des points tournants correspondants ( en Å) et les valeurs des constantes de rotation (en  $\text{cm}^{-1}$ ). Les énergies et les points tournants correspondants sont rapportés dans les tableaux VII.8 - VII.14. La figure VII.1 montre les courbes de potentiel des sept états étudiés de la molécule BaCl.

Constantes moléculaires de l'état X $2\Sigma$	
$\omega_e$	279.888192 (47)
$\omega_e x_e$	0.8134558 (99)
$\omega_e y_e 10^3$	1.076289 (78)
$\omega_e z_e 10^6$	- 1.37 (20)
$B_e 10^2$	8.396692 (63)
$\alpha 10^4$	3.344654 (45)
$\beta 10^6$	0.16532 (95)
$\gamma 10^8$	0.7755 (80)
$D_e 10^8$	3.009642 (22)
$\alpha 10^{10}$	0.28581 (74)
$H_e 10^{15}$	- 6.14 (27)
$\gamma_e 10^2$	0.167717 (55)
$\gamma_v 10^4$	- 0.103897 (41)

Tableau VII.1

Constantes moléculaires de l'état A $2\Delta$		
	notre travail	Martin <i>et al.</i>
$T_e$	9361.41163 (14)	9741.1 (5)
$A_e$	239.933238	
$A_J 10^5$	4.53897 (85)	
$A_{JJ} 10^8$	- 5.71 (37)	
$A_v$	0.607250 (51)	
$A_{vv} 10^4$	7.56 (60)	
$\omega_e$	260.36004 (10)	260.0 (6)
$\omega_e x_e$	0.819060 (25)	0.67
$\omega_e y_e 10^3$	1.54570 (23)	
$\omega_e z_e 10^6$	-5.95 (58)	
$B_e 10^2$	8.1345027 (66)	0.08141 (3)
$\alpha 10^4$	3.466980 (51)	2.9 (3)
$\beta 10^6$	0.27492 (16)	
$D_e 10^7$	- 1.39 (11)	3.19
$\alpha 10^{10}$	- 0.3116 (19)	
$p_e 10^9$	- 1.62 (25)	

Tableau VII.2



Constantes moléculaires de l'état A <sup>2</sup> Π		
	notre travail	Gustavsson <i>et al.</i>
T <sub>e</sub>	10539.11429 (12)	10539.1079 (14)
A <sub>e</sub>	632.75955 (17)	632.6019 (11)
A <sub>J</sub> 10 <sup>4</sup>	- 0.77143 (52)	- 0.38416 (60)
A <sub>JJ</sub> 10 <sup>9</sup>	- 0.481 (33)	
A <sub>JJJ</sub> 10 <sup>4</sup>	0.1497 (96)	
A <sub>v</sub>	- 0.696421 (64)	- 0.67867 (53)
A <sub>vv</sub> 10 <sup>3</sup>	7.9548 (94)	
ω <sub>e</sub>	257.295913 (82)	257.2879 (21)
ω <sub>e</sub> x <sub>e</sub>	0.807065 (13)	0.79911 (67)
ω <sub>e</sub> y <sub>e</sub> 10 <sup>3</sup>	1.1693 (14)	
B <sub>e</sub> 10 <sup>2</sup>	8.105398 (33)	8.108355 (53)
α 10 <sup>4</sup>	3.3646 (10)	3.4857 (29)
β 10 <sup>6</sup>	0.26862 (90)	
D <sub>e</sub> 10 <sup>8</sup>	3.23789 (31)	3.2218 (12)
α 10 <sup>10</sup>	- 0.5836 (23)	
p <sub>e</sub>	- 0.1620765 (10)	- 0.161978 (17)
p <sub>J</sub> 10 <sup>7</sup>	0.59359 (82)	0.5469 (54)
p <sub>v</sub> 10 <sup>4</sup>	4.8838 (37)	4.457 (73)
q <sub>e</sub> 10 <sup>5</sup>	8.66 (67)	2.343 (91)
q <sub>v</sub> 10 <sup>5</sup>	- 2.33 (24)	

Tableau VII.3

Constantes moléculaires de l'état B $2\Sigma$	
$T_e$	11739.8007 (5)
$\omega_e$	255.52597 (54)
$\omega_e x_e$	0.836167 (12)
$\omega_e y_e 10^3$	1.3918 (10)
$\omega_e z_e 10^6$	1.15 (30)
$B_e 10^2$	8.0864926 (63)
$\alpha 10^4$	3.598718 (56)
$\beta 10^6$	0.2754 (11)
$\gamma 10^8$	0.48 (10)
$D_e 10^8$	3.22717 (22)
$\alpha 10^{10}$	0.3978 (15)
$\beta 10^{13}$	- 2.93 (77)
$H_e 10^{15}$	- 7.16 (26)
$\gamma_e$	- 0.15926240 (71)
$\gamma_v 10^4$	4.13668 (40)
$\gamma_J 10^8$	4.5428 (73)
$\gamma_{JJ} 10^{13}$	0.49 (19)

Tableau VII.4

Constantes moléculaires de l'état C $2\Pi$	
$T_e$	19116.15592 (13)
$A_e$	388.15854 (12)
$A_J 10^4$	4.04501 (18)
$A_{JJ} 10^{10}$	0.325 (68)
$A_H 10^{11}$	3.24 (68)
$A_v$	2.972192 (25)
$A_{vv} 10^3$	-2.3172 (20)
$A_{vvv} 10^{14}$	0.210 (24)
$\omega_e$	282.977569 (53)
$\omega_e x_e$	0.795545 (10)
$\omega_e y_e 10^3$	1.114267 (99)
$\omega_e z_e 10^6$	- 1.38 (30)
$B_e 10^2$	8.2837158 (90)
$\alpha 10^4$	3.1356184 (89)
$\beta 10^6$	0.15653 (16)
$D_e 10^8$	2.79676 (61)
$\alpha 10^{10}$	- 0.53000 (95)
$p_e 10^4$	- 7.4482 (83)
$p_J 10^9$	- 5.68 (40)
$p_v 10^5$	- 8.20 (10)
$q_e 10^6$	1.59 (13)
$q_J 10^{10}$	- 0.78 (11)
$q_v 10^6$	- 3.33 (18)

Tableau VII.5

<b>Constantes moléculaires de l'état E <math>2\Sigma</math></b>	
$T_e$	26927.0272
$\omega_e$	312.16209 (13)
$\omega_e x_e$	0.802095 (28)
$\omega_e y_e 10^3$	2.9804 (15)
$B_e 10^2$	8.856915 (16)
$\alpha 10^4$	3.25987 (33)
$\beta 10^6$	- 2.07 (18)
$\gamma 10^7$	6.40 (19)
$\delta 10^8$	-3.6270 (73)
$D_e 10^8$	3.0113 (11)
$\alpha 10^{10}$	- 1.77 (14)
$H_e 10^{14}$	1.62 (30)
$\alpha 10^{15}$	- 1.80 (36)
$\gamma_e 10^2$	0.388114 (91)
$\gamma_v 10^4$	- 2.0058(12)
$\gamma_l 10^8$	- 1.9530 (30)

Tableau VII.6

<b>Constantes moléculaires de l'état F <math>2\Sigma</math></b>	
$T_e$	29356.2960
$\omega_e$	330.18201 (44)
$\omega_e x_e$	0.91484 (50)
$\omega_e y_e 10^3$	0.73 (13)
$B_e 10^2$	9.0181770 (79)
$\alpha 10^4$	3.14808 (51)
$D_e 10^8$	2.74209 (36)
$\gamma_e 10^2$	- 6.73485 (46)
$\gamma_v 10^4$	-1.19 (30)
$\gamma_l 10^7$	1.6270 (57)

Tableau VII.7

<b>v</b>	<b>R<sub>min</sub></b>	<b>R<sub>max</sub></b>	<b>E</b>
1	2.57627	2.80474	418.02191
2	2.54789	2.84356	694.67023
3	2.52562	2.87631	969.70709
4	2.50692	2.90554	1243.13953
5	2.49063	2.93239	1514.97424
6	2.47611	2.95753	1785.21790
7	2.46295	2.98135	2053.87744
8	2.45088	3.00412	2320.95972
9	2.43972	3.02603	2586.47119
10	2.42932	3.04723	2850.41895
11	2.41956	3.06783	3112.80957
12	2.41038	3.08790	3373.64990
13	2.40168	3.10753	3632.94702
14	2.39343	3.12677	3890.70728
15	2.38558	3.14565	4146.93799
16	2.37807	3.16423	4401.64502
17	2.37089	3.18253	4654.83594
18	2.36401	3.20059	4906.51758
19	2.35739	3.21843	5156.69629
20	2.35103	3.23606	5405.37891

Tableau VII.8 :  $T_e = 0$ ,  $R_e = 2.682715688 \text{ \AA}$

<b>V</b>	<b>R<sub>min</sub></b>	<b>R<sub>max</sub></b>	<b>E</b>
1	2.61554	2.85246	388.69141
2	2.58625	2.89297	645.78418
3	2.56331	2.92718	901.26367
4	2.54407	2.95774	1155.13965
5	2.52732	2.98585	1407.41895
6	2.51241	3.01219	1658.10938
7	2.49890	3.03717	1907.21875
8	2.48653	3.06107	2154.75586
9	2.47509	3.08410	2400.72754
10	2.46444	3.10639	2645.14258
11	2.45446	3.12806	2888.00781
12	2.44506	3.14921	3129.33203
13	2.43618	3.16989	3369.12207
14	2.42776	3.19018	3607.38672
15	2.41974	3.21011	3844.13281
16	2.41209	3.22973	4079.37012
17	2.40477	3.24907	4313.10449
18	2.39776	3.26816	4545.34473
19	2.39103	3.28704	4776.09863
20	2.38456	3.30571	5005.37402

Tableau VII.9 :  $T_e = 9361.3748 \text{ cm}^{-1}$ ,  $R_e = 2.725644235 \text{ \AA}$

V	R <sub>min</sub>	R <sub>max</sub>	E
1	2.61946	2.85783	384.12695
2	2.59005	2.89858	638.20215
3	2.56705	2.93303	890.68652
4	2.54770	2.96381	1141.58594
5	2.53090	2.99214	1390.90820
6	2.51595	3.01869	1638.66113
7	2.50242	3.04387	1884.85156
8	2.49003	3.06797	2129.48535
9	2.47858	3.09119	2372.57129
10	2.46793	3.11368	2614.11621
11	2.45796	3.13555	2854.12598
12	2.44858	3.15690	3092.60938
13	2.43972	3.17778	3329.57227
14	2.43132	3.19827	3565.02246
15	2.42334	3.21841	3798.96680
16	2.41573	3.23824	4031.41309
17	2.40846	3.25780	4262.36816
18	2.40150	3.27711	4491.83887
19	2.39483	3.29621	4719.83203
20	2.38842	3.31510	4946.35547

Tableau VII.10 :  $T_e = 10539.11608 \text{ cm}^{-1}$ ,  $R_e = 2.730187401 \text{ \AA}$

V	R <sub>min</sub>	R <sub>max</sub>	E
1	2.62278	2.86200	381.42581
2	2.59339	2.90307	633.62305
3	2.57038	2.93781	884.16895
4	2.55111	2.96887	1133.07227
5	2.53435	2.99748	1380.34082
6	2.51944	3.02429	1625.98242
7	2.50595	3.04975	1870.00586
8	2.49360	3.07411	2112.41797
9	2.48219	3.09759	2353.22852
10	2.47156	3.12034	2592.44434
11	2.46162	3.14263	2830.07324
12	2.45225	3.16406	3066.12500
13	2.44341	3.18519	3300.60645
14	2.43502	3.20593	3533.52539
15	2.42705	3.22663	3764.89160
16	2.41944	3.24639	3994.71094
17	2.41218	3.26619	4222.99316
18	2.40521	3.28574	4449.74512
19	2.39853	3.30507	4674.97559
20	2.39211	3.32421	4898.69238

Tableau VII.11 :  $T_e = 11739.79997 \text{ cm}^{-1}$ ,  $R_e = 2.733684506 \text{ \AA}$

V	R <sub>min</sub>	R <sub>max</sub>	E
1	2.59463	2.82182	422.67383
2	2.56626	2.86026	702.47852
3	2.54398	2.89265	980.71289
4	2.52525	2.92154	1257.38086
5	2.50892	2.94807	1532.49023
6	2.49436	2.97289	1806.04688
7	2.48115	2.99639	2078.05859
8	2.46904	3.01885	2348.52930
9	2.46904	3.04046	2617.46680
10	2.44738	3.06136	2884.87695
11	2.43757	3.08166	3150.76367
12	2.42834	3.10143	3415.13867
13	2.41960	3.12077	3678.00195
14	2.41130	3.13971	3939.36328
15	2.40339	3.15830	4199.22852
16	2.39585	3.17659	4457.60352
17	2.38863	3.19461	4714.49414
18	2.38170	3.21237	4969.90820
19	2.37504	3.22992	5223.84961
20	2.36864	3.24728	5476.32617

Tableau VII.12 :  $T_e = 19116.15526 \text{ cm}^{-1}$ ,  $R_e = 2.700720699 \text{ \AA}$

V	R <sub>min</sub>	R <sub>max</sub>	E
1	2.51156	2.72786	466.18945
2	2.48443	2.76424	775.07422
3	2.46310	2.79485	1082.45117
4	2.44516	2.82210	1388.32812
5	2.42952	2.84708	1692.71094
6	2.41555	2.87042	1995.60742
7	2.40289	2.89249	2297.02148
8	2.39126	2.91355	2596.96289
9	2.38049	2.93378	2895.43555
10	2.37045	2.95331	3192.44727
11	2.36102	2.97226	3488.00586
12	2.35214	2.99070	3782.11523
13	2.34372	3.00870	4074.78320
14	2.33573	3.02630	4366.01562
15	2.32811	3.04357	4655.81836
16	2.32084	3.06052	4944.20117
17	2.31387	3.07720	5231.16797
18	2.30718	3.09363	5516.72656
19	2.30075	3.10983	5800.88281
20	2.29455	3.12582	6083.64453

Tableau VII.13 :  $T_e = 26927.0272 \text{ cm}^{-1}$ ,  $R_e = 2.612798042 \text{ \AA}$

V	R <sub>min</sub>	R <sub>max</sub>	E
1	2.49001	2.70031	493.20703
2	2.46356	2.73566	819.82617
3	2.44279	2.76544	1144.75391
4	2.42538	2.79200	1468.04883

Tableau VII.14 :  $T_e = 29356.2960 \text{ cm}^{-1}$ ,  $R_e = 2.588601078 \text{ \AA}$

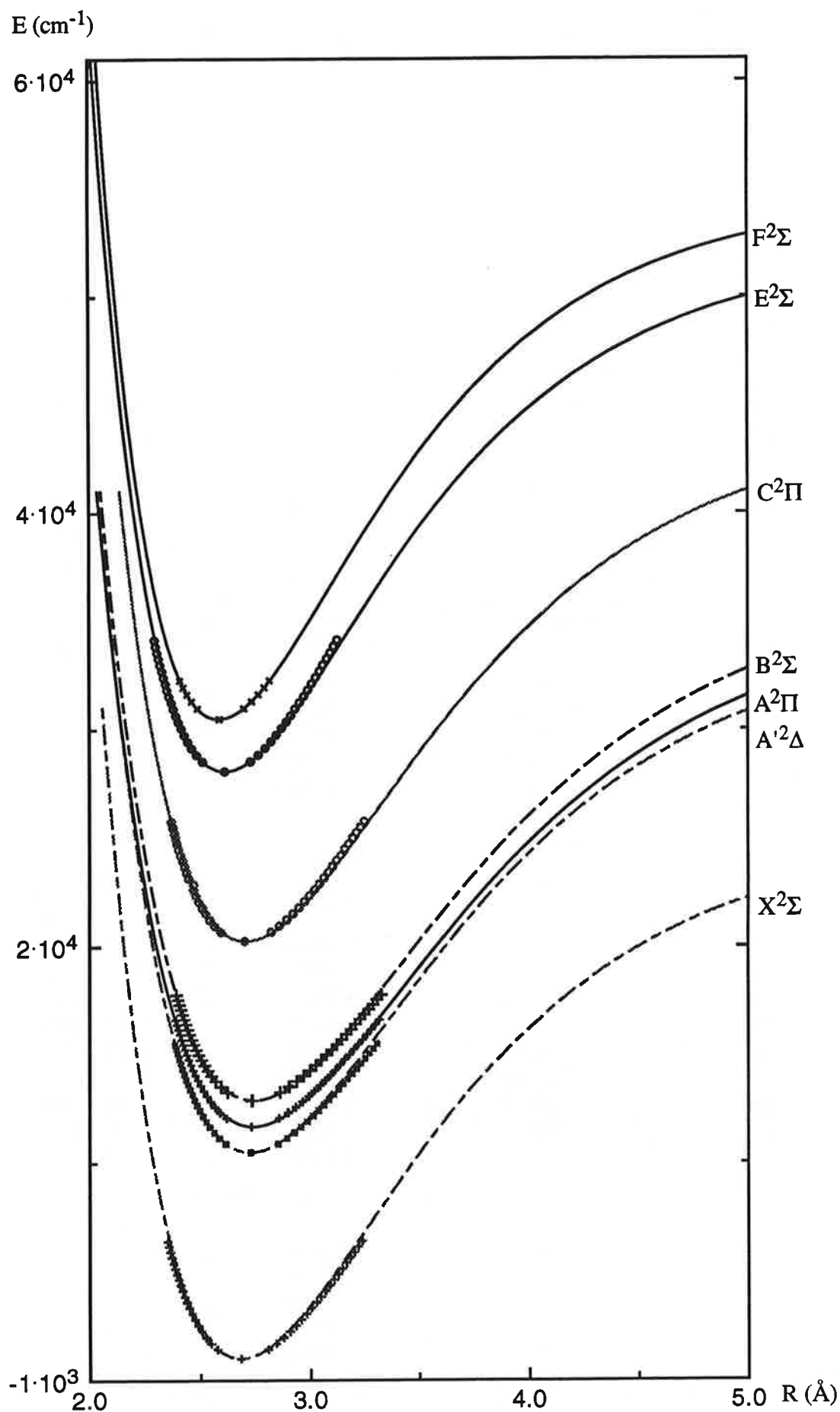


fig.VII.1 : courbes d'énergie potentielle de la molécule BaCl



## VIII- Conclusion

La fluorescence induite par laser associée à la spectrométrie de Fourier nous a permis d'obtenir des informations nombreuses et précises sur dix transitions impliquant sept états électroniques. Nous avons étendu ainsi l'analyse rotationnelle et vibrationnelle de la molécule de BaCl et d'une de ses variétés isotopiques. Nous avons réussi à étudier en détail l'état fondamental qui a constitué une étape indispensable pour entreprendre l'étude des états excités. Par l'analyse des transitions  $B\ ^2\Sigma - X\ ^2\Sigma$  et  $F\ ^2\Sigma - B\ ^2\Sigma$ , nous avons confirmé le mélange de l'état  $B\ ^2\Sigma$  avec l'état  $A\ ^2\Pi$  par l'interaction spin-orbite. Les nouveaux résultats expérimentaux (résolution de la structure fine, dédoublement  $\Lambda$ , extension de l'analyse, corrections d'attributions,..) et notamment ceux obtenus pour la première fois à partir des transitions  $E\ ^2\Sigma - C\ ^2\Pi$ ,  $C\ ^2\Pi - B\ ^2\Sigma$  et  $C\ ^2\Pi - A\ ^2\Pi$ , ont entraîné une modification notable des constantes moléculaires. En effet, les analyses antérieures étaient limitées à des  $J$  et  $v$  petits, bien que plusieurs branches aient été mesurées, cette restriction entraînait une détermination imprécise des paramètres dont la contribution à l'énergie est faible. Nous avons procédé, pour la détermination des constantes moléculaires des états étudiés, en deux étapes : traitement préliminaire de chaque transition suivant l'ordre du protocole donné au paragraphe III. Un traitement global de tous les nombres d'ondes observés, mettant en jeu sept états électroniques et dix transitions n'a jamais, à notre connaissance, été réalisé auparavant pour une molécule diatomique. Il a permis le calcul de plus de 300000 niveaux d'énergie vibro-rotationnels de la molécule (et autant pour sa variété isotopique) permettant la détermination des nombres d'ondes de plus de 800 bandes avec une précision meilleure que  $4\ 10^{-3}\ \text{cm}^{-1}$ . Les niveaux d'énergie calculés pour les transitions observées sont résumés dans l'Appendice. Les constantes moléculaires ont permis de construire les courbes de potentiel des états mis en jeu dans les transitions observées jusqu'à des distances internucléaires relativement grandes (3,4 Å).

## Références du chapitre III

- [1] T. Törring, W.E. Ernst, and J. Kändler, *J. Chem. Phys.* 90 (1989) 4927.
- [2] S.F. Rice, H. Martin, and R.W. Field, *J. Chem. Phys.* 82 (1985) 5023.
- [3] R.F. Barrow and D.W. Crawford, *Nature* 157 (1946) 339.
- [4] C. Ryzlewicz, H.U Schütze-Pahlmann, J. Hoefl and T. Törring, *Chem. Phys.* 71 (1982) 389.
- [5] H. Martin and P. Royen, *Chem. Phys. Letters* 97 (1987) 127.
- [6] P. Pagès, A. Pereira and P. Royen, *Physica Scripta* 31 (1985) 281.
- [7] T. Gustavsson and H. Martin, *Physica Scripta* 34 (1986) 207.
- [8] G. Gustafsson, T. Gustavsson and H. Martin, *J. Mol. Spectrosc.* 131 (1988) 223.
- [9] G. Gustavsson, H. Martin and P. Royen, *J. Mol. Spectrosc.* 130 (1988) 454.
- [10] G. Gustafsson, H. Martin, P. Royen and M. Zackrisson, *J. Mol. Spectrosc.* 139 (1990) 163.
- [11] O. Launila, P. Royen and M. Zackrisson, *Mol.Phys.* 78 (1993) 763.
- [12] R. Ludwig, P. Royen, *Chem. Phys. Letters.* 223 (1994) 95.
- [13] C. Amiot and J. Vergès, *Chem. Phys. Letters* 185 (1991) 310.
- [14] C. Athénour, thèse de doctorat, Université de Nice, 1975.
- [15] C. Amiot, *J. Mol. Spectrosc.* 94 (1982) 150.
- [16] C. Amiot, *J. Chem. Phys.* 93 (1990) 8591.
- [17] A. Bernard, C. Effantin, R. Andrianavalona, J. Vergès and R. F. Barrow, *J. Mol. Spectrosc.*, 152 (1992) 174.
- [18] J. Vergès and C. Amiot, *J. Mol. Spectrosc.* 126 (1987) 393.
- [19] T. Gustavsson, C. Amiot and J. Vergès, *J. Mol. Spectrosc.* 145 (1991) 145.
- [20] G. Herzberg, "Molecular Spectra and Molecular Structure, I: Spectra of diatomic Molecules" (Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1950).

- [21] R.F. Barrow, A. Bernard, C. Effantin, J. D'Incan, G. Fabre, A. El Hachimi, R. Stringat and J. Vergès, *J. Chem. Phys.* 147 (1988) 535.
- [22] G. Fabre, A. El Hachimi, R. Stringat, C. Effantin, A. Bernard, J. D'Incan, and J. Vergès, *J. Phys. B* 20 (1987) 1933.
- [23] A. Bernard, C. Effantin, J. D'Incan, G. Fabre, A. El Hachimi, R. Stringat, J. Vergès and R.F. Barrow, *Molec. Phys.* 62 (1988) 797.
- [24] J. D'Incan, C. Effantin, A. Bernard, J. Vergès and R.F. Barrow, *J. Phys. B* 24 (1991) 127.
- [25] A.R. Allouche, G. Wannous and M. Aubert-Frécon, *Chem. Physics* 170 (1993) 11.







## **chapitre IV**

### **I- Introduction**

### **II- Modèle théorique**

### **III- Traitement numérique**

### **IV- Analyse des résultats**

IV.1 Comparaison des paramètres T, A obtenus par le traitement simultané et par le traitement en complexe

IV.2 Comparaison des paramètres T, A du complexe avec ceux prévus par la théorie

IV.3 Comparaison avec la série des halogénures

### **V- Conclusion**





## I- Introduction

Nous proposons dans ce chapitre d'étudier le 'Complexe' formé par les états électroniques  $A^2\Pi$ ,  $A'^2\Delta$  et  $B^2\Sigma$  de la molécule BaCl. Nous présenterons d'abord l'aspect général des travaux théoriques concernant les halogénures d'alcalino-terreux puis nous exposerons le traitement numérique effectué de façon réaliste et systématique. Enfin, nous discuterons les résultats obtenus.

Les molécules à liaison fortement ionique, les molécules de Rydberg et les agrégats ioniques ont fait l'objet de plusieurs travaux théoriques. Notamment, les halogénures d'alcalino-terreux sont de bons candidats pour tester la validité de tels calculs à cause de la nature ionique de leur liaison chimique. En général, l'approche théorique pour l'étude des états excités de ces molécules consiste à les considérer comme un système constitué de trois éléments : un ion métallique doublement chargé  $M^{++}$ , un ion négatif  $X^-$  et un électron de valence en interaction avec les deux ions. La dominance du caractère métallique sur les propriétés électroniques et la grande ionicité de ces molécules ont permis de développer essentiellement deux modèles :

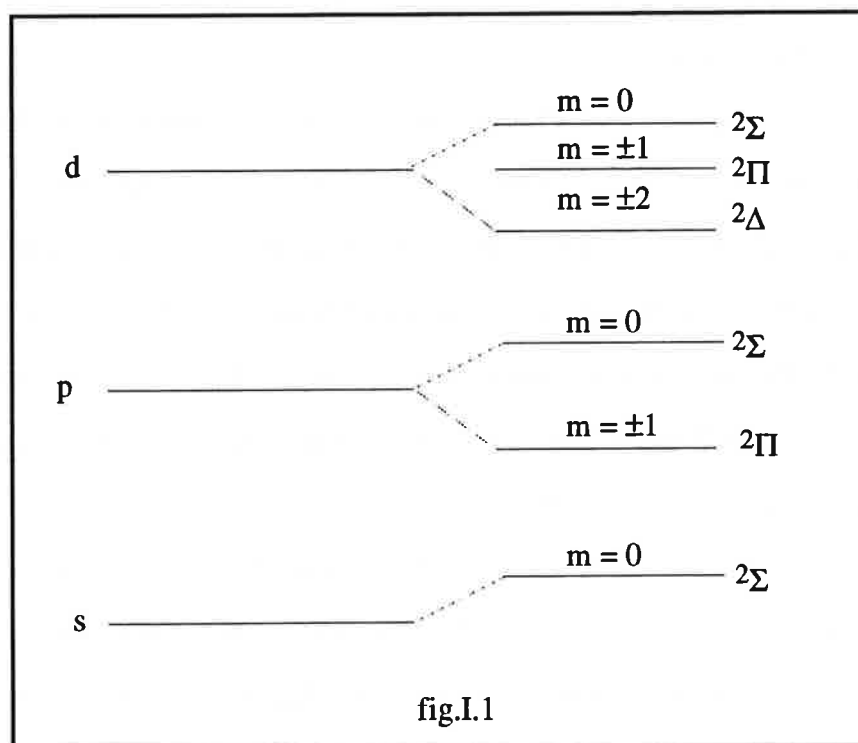
\* le modèle de la polarisation électrostatique : c'est une approche semi-classique, basée sur les interactions électrostatiques mutuelles entre ions à couche fermée. Les paramètres peuvent être calculés à partir des fonctions d'ondes de  $M^+$  et sont ajustables à partir des valeurs expérimentales différentes. Les polarisabilités sont considérées pour les différents états de l'ion  $M^+$ . Ce calcul semi-classique a été appliqué sur les alcalins par Rittner *et al.*[1]. Ensuite, Törring *et al.*[2] ont adapté ce modèle pour les halogénures d'alcalino-terreux en tenant compte de leur grande polarisabilité.

\* le modèle du champ liant : basé sur l'effet du champ électrique de la charge de l'ion  $X^-$  sur l'ion  $M^+$ . Ainsi l'ion  $X^-$  est assimilé à une charge ponctuelle jouant le rôle d'un perturbateur. Cette approche, proposée par Rice *et al.*[3] pour décrire les états des molécules CaX, a été étendue dernièrement aux systèmes BaX et SrX [4]. Le modèle est prédictif et

nécessite une connaissance des fonctions d'ondes atomiques de l'ion  $M^+$  et celles des distances internucléaires.

Ces modèles ioniques se caractérisent par leur simplicité et leur efficacité dans la compréhension des propriétés des ions qui constituent la molécule. Les énergies de transition, les moments dipolaires et de transition sont les principaux résultats de ces approches théoriques. Cependant, les hypothèses sur la nature de la liaison chimique conduisent dans certains cas à des prévisions peu précises. Par exemple, pour les hydrures d'alcalino-terreux, le résultat du modèle du champ liant est moins bon à cause de la grande contribution covalente à la structure électronique de ces molécules [4].

Dans la description ionique, l'électron de valence donne l'état fondamental  $2\Sigma^+$ , l'excitation de cet électron s vers l'état p forme les états  $2\Pi$  et  $2\Sigma^+$ , alors que les états  $2\Delta$ ,  $2\Pi$  et  $2\Sigma^+$  sont le résultat de l'excitation de l'électron de valence à l'état d (fig.I.1). Dans le cas de la molécule de BaCl, le premier état excité de  $Ba^+$  est 5d (fig.I.2), ce qui entraîne l'état moléculaire A  $^2\Delta$  de basse énergie interagissant avec les états électroniques A  $2\Pi$  et B  $2\Sigma^+$  issus de la même configuration.



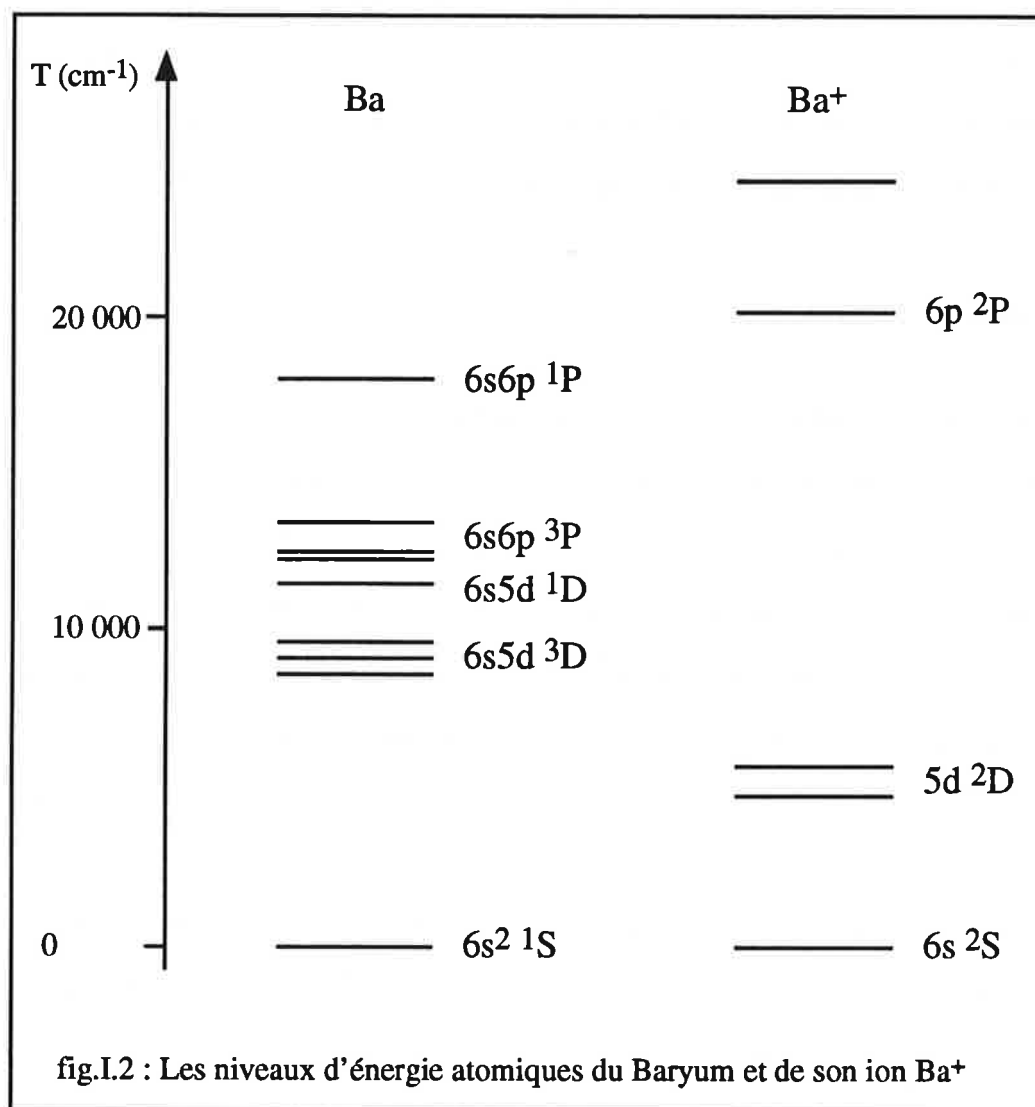


fig.I.2 : Les niveaux d'énergie atomiques du Baryum et de son ion Ba<sup>+</sup>

Les travaux spectroscopiques antérieurs sur les états A' <sup>2</sup>Δ, A <sup>2</sup>Π et B <sup>2</sup>Σ<sup>+</sup> ont été limités, surtout sur le premier état excité A' <sup>2</sup>Δ qui n'était pas bien déterminé. Sur le plan numérique, les traitements étaient partiels et ne prenaient pas en compte les interactions entre états électroniques. L'insuffisance des résultats expérimentaux ne permettait pas de faire une comparaison avec ceux prédits par les modèles théoriques. Seul un traitement des trois états électroniques formant un complexe dit "nd" et la mise au point d'un modèle réaliste devrait permettre d'évaluer la fraction de caractère ionique de la liaison ainsi que les fonctions d'ondes électroniques avec leurs caractères Σ, Δ, Π. Ceci permettra de comprendre le rôle des électrons dans la liaison chimique, de tester la validité des calculs théoriques sur le

remplissage des orbitales moléculaires et leur répartition autour des noyaux ainsi que de préciser le type d'excitation électronique conduisant aux états excités. Il sera très intéressant de comparer les résultats de BaCl avec ceux d'autres halogénures ou hydrures tels BaF, BaBr et BaH, en particulier les paramètres spin-orbite et les paramètres d'interaction.

## II Modèle théorique

La caractérisation du complexe formé par les états  $A' \ ^2\Delta$ ,  $A \ ^2\Pi$  et  $B \ ^2\Sigma$  est mise en évidence par l'interaction entre les états  $A \ ^2\Pi$  et  $B \ ^2\Sigma$ , responsable de l'apparition des raies Q dans les spectres des transitions  $B \ ^2\Sigma - X \ ^2\Sigma$  et  $F \ ^2\Sigma - B \ ^2\Sigma$ . Pour représenter les niveaux des différents états formant le complexe, il faut donc définir un modèle le mieux adapté, c'est-à-dire tenant compte explicitement des interactions entre états. Pour cela nous avons construit la matrice hamiltonienne de l'ensemble en utilisant les matrices des états "isolés"  $^2\Sigma$ ,  $^2\Delta$  et  $^2\Pi$  établies précédemment mais en tenant compte des couplages liant les trois états formant le complexe.

Au premier ordre, les interactions dans le complexe "d" peuvent être représentées par des paramètres décrivant les perturbations  $^2\Delta \sim ^2\Pi$ ,  $^2\Pi \sim ^2\Sigma$ . Ce sont les termes de distorsion centrifuge de rotation :

$$\xi = \langle ^2\Pi | BL^+ | ^2\Sigma^+ \rangle. \quad (\text{II.1})$$

$$\beta = \langle ^2\Delta | BL^+ | ^2\Pi \rangle, \quad (\text{II.2})$$

et de spin-orbite :

$$\alpha = \langle ^2\Delta | H_{so} | ^2\Pi \rangle, \quad (\text{II.3})$$

$$\eta = \langle ^2\Pi | H_{so} | ^2\Sigma^+ \rangle, \quad (\text{II.4})$$

L'ensemble des états électroniques " $A' \ ^2\Delta$ ,  $A \ ^2\Pi$ ,  $B \ ^2\Sigma$ ", appelé dorénavant 'Complexe', est alors représenté par une matrice (5 x 5), pour chaque parité e et f.

Les éléments de cette matrice sont les suivants :

$$* \langle {}^2\Pi_{3/2} | H | {}^2\Pi_{3/2} \rangle = T_{\Pi} + A_{\Pi}/2 + (B_{\Pi} + A_{J\Pi})(X - 1) - D_{\Pi} ((X - 1)^2 + X) + H_{\Pi} ((X - 1)^3 + X(3X - 1)) + A_{J\Pi}/2(3(X - 1)^2 + X).$$

$$* \langle {}^2\Pi_{3/2} | H | {}^2\Pi_{1/2} \rangle = - B_{\Pi}X^{1/2} + 2D_{\Pi}X^{3/2} - H_{\Pi}(3X^2 + X + 1)X^{1/2} + A_{J\Pi}X^{1/2}.$$

$$* \langle {}^2\Pi_{1/2} | H | {}^2\Pi_{1/2} \rangle = T_{\Pi} - A_{\Pi}/2 + (B_{\Pi} - A_{J\Pi})(X + 1) - D_{\Pi} ((X + 1)^2 + X) + H_{\Pi} ((X + 1)^3 + X(3X + 1)) + A_{J\Pi}/2(3(X + 1)^2 + X)$$

$$* \langle {}^2\Delta_{5/2} | H | {}^2\Delta_{5/2} \rangle = T_{\Delta} + A_{\Delta} + (B_{\Delta} + 2A_{J\Delta})(X - 2) - D_{\Delta} ((X - 2)^2 + X) + H_{\Delta} ((X - 2)^3 + X(3X - 2)) + A_{J\Delta}(3(X - 2)^2 + X).$$

$$* \langle {}^2\Delta_{5/2} | H | {}^2\Delta_{3/2} \rangle = - B_{\Delta}X^{1/2} + 2D_{\Delta}X^{3/2} - H_{\Delta}(3X^2 + X + 4)X^{1/2} + 4A_{J\Delta}X^{1/2}.$$

$$* \langle {}^2\Delta_{3/2} | H | {}^2\Delta_{3/2} \rangle = T_{\Delta} - A_{\Delta} + (B_{\Delta} - 2A_{J\Delta})(X + 2) - D_{\Delta} ((X + 2)^2 + X) + H_{\Delta} ((X + 2)^3 + X(3X + 2)) + A_{J\Delta}(3(X + 2)^2 + X).$$

$$* \langle {}^2\Sigma | H | {}^2\Sigma \rangle = T_{\Sigma} + B_{\Sigma}x(x \pm 1) - D_{\Sigma} x^2(x \pm 1)^2 + H_{\Sigma}x^3(x \pm 1)^3 - (1 \pm x) \gamma_{\Sigma}/2.$$

$$* \langle {}^2\Delta_{5/2} | H | {}^2\Pi_{3/2} \rangle = - \beta(J - 3/2)^{1/2}(J + 5/2)^{1/2}.$$

$$* \langle {}^2\Delta_{3/2} | H | {}^2\Pi_{3/2} \rangle = \alpha + \beta.$$

$$* \langle {}^2\Delta_{3/2} | H | {}^2\Pi_{1/2} \rangle = - \beta(J - 1/2)^{1/2}(J + 3/2)^{1/2}.$$

$$* \langle {}^2\Sigma | H | {}^2\Pi_{3/2} \rangle = - \xi(x^2 - 1)^{1/2}.$$

$$* \langle {}^2\Sigma | H | {}^2\Pi_{1/2} \rangle = \eta + \xi(1 \pm x).$$

avec  $x = J + 1/2$  et  $X = (J + 1/2)^2 - \Lambda^2$ . Le signe supérieur est relatif à la parité f, le signe inférieur à e.

Le dédoublement  $\Lambda$  dans l'état  $A \ ^2\Pi$  est représenté principalement par les paramètres d'interaction  $\eta$  et  $\xi$ .

Les énergies rotationnelles de l'état fondamental  $X \ ^2\Sigma$  sont représentées par la formule habituelle avec :

$$F_{e,f} = B_v N(N+1) - D_v N^2(N+1)^2 + H_v N^3(N+1)^3 \pm \gamma_N(N+i)/2$$

$i = 0$  pour la parité e;

$i = 1$  pour la parité f.

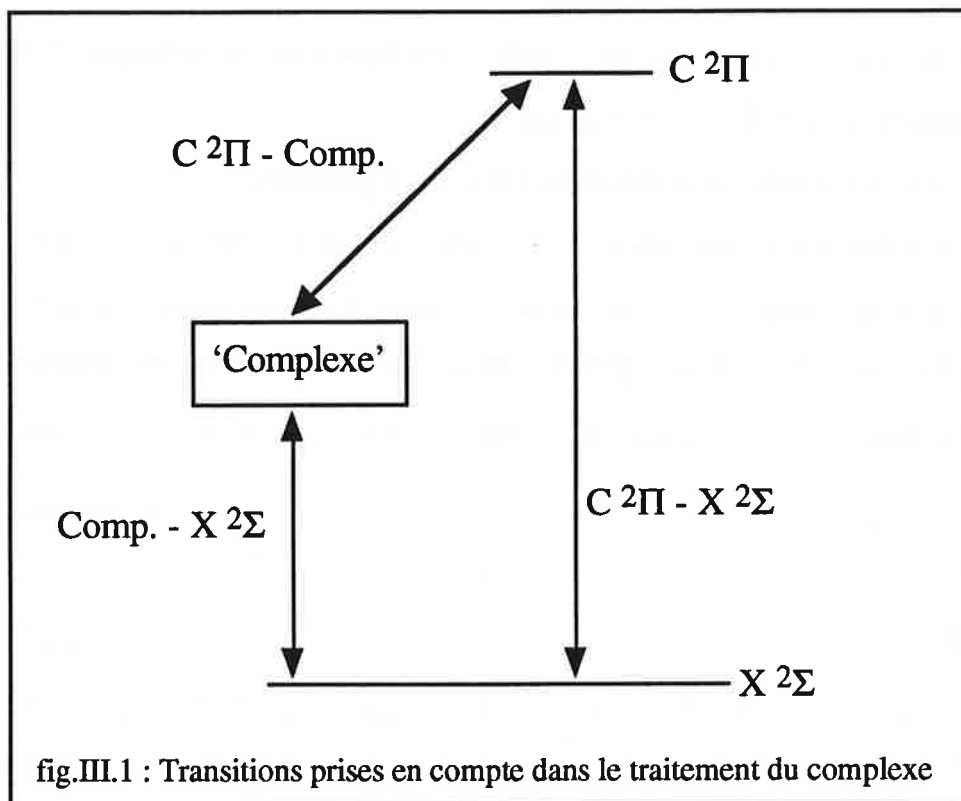
L'état  $C \ ^2\Pi$  est décrit par une matrice (2 X 2) donnée dans le chapitre II. Les interactions  $C \ ^2\Pi \sim B \ ^2\Sigma$  sont négligées car ces deux états sont éloignés en énergie.

### III- Traitement numérique

Pour bien déterminer les paramètres du Complexe "d", nous avons choisi de considérer les transitions suivantes : Complexe -  $X \ ^2\Sigma$ ,  $C \ ^2\Pi$  - Complexe et  $C \ ^2\Pi$  -  $X \ ^2\Sigma$ . Les attributions vibrationnelles et rotationnelles des différentes bandes des trois systèmes ont été réalisées et données au chapitre III. Les positions des cinq composantes des états  $A' \ ^2\Delta$ ,  $A \ ^2\Pi$  et  $B \ ^2\Sigma^+$  sont bien connues pour des niveaux vibrationnels allant jusqu'à  $v = 20$ . Pour des raisons de temps de calcul des ordinateurs, nous avons retenu seulement les bandes analysées faisant intervenir les niveaux vibrationnels jusqu'à  $v = 10$  et les niveaux rotationnels jusqu'à  $J = 150$ .

En résumé, ce traitement du complexe est basé sur la réduction simultanée des nombres d'ondes calculés dans le traitement présenté au chapitre III. Les transitions suivantes ont été retenues (fig.III.1) :

- \*  $C \ ^2\Pi \rightarrow$  Complexe ( c'est-à-dire  $C \ ^2\Pi - A' \ ^2\Delta$ ,  $C \ ^2\Pi - A \ ^2\Pi$ ,  $C \ ^2\Pi - B \ ^2\Sigma$ )
- \* Complexe  $\rightarrow X \ ^2\Sigma$  ( c'est-à-dire  $A \ ^2\Pi - X \ ^2\Sigma$  et  $B \ ^2\Sigma - X \ ^2\Sigma$ ,  $A' \ ^2\Delta - X \ ^2\Sigma$  est interdite)
- \*  $C \ ^2\Pi - X \ ^2\Sigma$ .



Le programme informatique nécessaire pour le traitement simultané de toutes les données (80000 nombres d'ondes) a été mis au point, sur le même principe que celui du traitement global (cf.chap.III) mais en ne considérant qu'une seule matrice pour le complexe d (expressions II.5).

Nous avons tout d'abord remarqué que le paramètre d'interaction  $\alpha$ , déterminé expérimentalement dans les seules molécules BaH et BaF, varie peu d'un composé du Baryum à l'autre. En effet la valeur du paramètre  $\alpha$  est égale à  $200\text{ cm}^{-1}$  et  $210\text{ cm}^{-1}$  respectivement pour BaH et BaF.

Dans le cas de BaCl, le paramètre d'interaction  $\alpha$  a dû être fixé dans les calculs car il n'a pu être déterminé par les données spectroscopiques. En effet, nous avons pas observé d'interaction ou de perturbation directe entre les états  $A\ 2\Pi$  et  $A'\ 2\Delta$ . Ces perturbations sont certainement observables pour des niveaux vibrationnels très supérieurs. La valeur de ce paramètre  $\alpha$  a été choisie voisine de celle de BaF pour deux raisons principales :

\* La composition des fonctions d'ondes sur la base des états atomiques est peu différente pour BaCl et pour BaF [5];

\* il n'existe pas de calcul théorique précis de ce paramètre.

Nous avons donc choisi une valeur de  $\alpha$  voisine (autour de  $210 \text{ cm}^{-1}$ ) de celles obtenues pour BaH et BaF. Plusieurs essais ont été effectués. Ils consistaient à introduire dans le calcul plusieurs valeurs de  $\alpha$  et  $\beta$  fixées. Nous avons remarqué que les autres paramètres varient faiblement comme le montrent les résultats portés sur le tableau ci-dessous :

$\alpha$	225	225	200	125
$\beta$	0.13	0.1	0	0.1
$\eta$	526.4709	526.46927	526.46951	526.4690
$\xi$	0.13329	0.12116	0.12318	0.12043
$T_{\Delta}$	9366.522	9366.523	9363.3463	9359.1812
$A_{\Delta}$	225.3662	225.36689	228.54312	235.7042
$T_{\Lambda}$	10619.321	10619.321	10622.498	10629.659
$A_{\Lambda}$	389.9125	389.91142	396.2643	410.5862

Tableau III.1  
(les paramètres sont donnés en  $\text{cm}^{-1}$ )

La seconde étape a consisté en une série d'ajustements dans lesquels les paramètres spin-orbite des états  $A' \ ^2\Delta$  et  $A \ ^2\Pi$ , ainsi que les paramètres d'interaction  $\eta$  et  $\xi$ , étaient variables, tandis que les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$  prenaient des valeurs fixes. L'ensemble des constantes obtenues précédemment a été utilisé comme jeu de valeurs initiales de ces ajustements. Nous avons remarqué que tous les paramètres étaient déterminables. L'écart quadratique moyen obtenu était égal à  $2.10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ . Ainsi les paramètres d'interaction  $\eta$  et  $\xi$  sont obtenus avec une bonne précision. Cependant en 'libérant' les paramètres  $\alpha$  et  $\beta$ , les itérations du calcul ne convergent pas.



Les constantes spectroscopiques déperturbées des états A'  $^2\Delta$ , A  $^2\Pi$  et B  $^2\Sigma$ , formant le complexe, sont rassemblées dans le Tableau III.2. Les valeurs de l'énergie  $T_e$  ont été calculées à partir du niveau X  $^2\Sigma$  ( $v = 0, N = 0$ ) et les valeurs entre parenthèses représentent les incertitudes portant sur les derniers chiffres.

Les paramètres d'interaction et leurs variations sont donnés dans le Tableau III.3 pour le choix  $\alpha = 225 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\beta = 0.1 \text{ cm}^{-1}$ . En ce qui concerne les états C  $^2\Pi$  et X  $^2\Sigma$ , nous avons remarqué que les valeurs des paramètres ne diffèrent pas de celles obtenues dans l'étude globale du chapitre III. Nous les avons inclus dans le calcul dans le but d'avoir une description satisfaisante pour les états formant le complexe.

Constantes ( $\text{cm}^{-1}$ )	A' $^2\Delta$	A $^2\Pi$	B $^2\Sigma$
$T_e$	9376.284091 (14)	10630.5350100 (29)	11527.28741 (58)
$A_e$	225.0696008 (82)	390.49040 (58)	-----
$\omega_e$	260.3650987 (78)	256.068209 (33)	257.897611 (65)
$\omega_e x_e$	0.8160660 (14)	0.7979482 (15)	0.8496275 (14)
$\omega_e y_e 10^3$	1.312728 (81)	1.141537 (87)	1.5278097 (78)
$B_e 10^2$	8.1350228 (45)	8.0937730 (37)	8.11577379 (59)
$\alpha 10^4$		3.538312 (29)	
$D_e 10^8$	3.13855 (27)	3.24247 (29)	3.23740 (22)
$H_e 10^{15}$	-1.0386 (67)		

Tableau III.2 : Constantes déperturbées des états A'  $^2\Delta$ , A  $^2\Pi$  et B  $^2\Sigma$

$\eta$ 526.47895(60)	$\xi$ 0.13297972(16)	$\alpha$ [225].	$\beta$ [0.1]
$\eta_J 10^3$ -0.388236(58)	$\xi_J 10^7$ 0.6217(11)		$\beta_v 10^5$ 3.07(25)
$\eta_v$ -2.886624(64)	$\xi_{vJ} 10^9$ -2.57(41)		$\beta_J 10^6$ 1.29(10)
$\eta_{vv} 10^4$ -0.180973(59)			
$\eta_{vJ} 10^{10}$ -0.432(20)			

Tableau III.3 : Paramètres d'interaction entre les états A'  $^2\Delta$ , A  $^2\Pi$  et B  $^2\Sigma$   
(les paramètres entre crochets sont fixés, valeurs en  $\text{cm}^{-1}$ )

## IV- Analyse des résultats

Par ce traitement, on a pu déterminer un ensemble cohérent de constantes, ceci grâce au grand nombre de bandes analysées et à l'excellente précision des mesures. Les paramètres spectroscopiques obtenus concordent bien avec ceux issus du traitement simultané (cf. chap.III) à l'exception, attendue, des paramètres T et A des états électroniques A'  $^2\Delta$ , A  $^2\Pi$  et B  $^2\Sigma$ .

### IV.1 Comparaison des paramètres T, A obtenus par le traitement simultané et par le traitement en complexe.

Le Tableau IV.1.1 où sont rassemblés les énergies  $T_e$  et les paramètres spin-orbite des états A'  $^2\Delta$ , A  $^2\Pi$  et B  $^2\Sigma$  obtenus par les deux traitements montre, bien la différence qui peut atteindre  $242 \text{ cm}^{-1}$ .

La valeur de la constante de spin-orbite de l'état A  $^2\Pi$  a fortement diminué de  $632 \text{ cm}^{-1}$ , valeur obtenue d'après le traitement simultané, à la valeur  $390 \text{ cm}^{-1}$ . Cette diminution du paramètre spin-orbite de l'état A  $^2\Pi$  était attendue. En effet, Gustafsson *et al.*[6] ont fait un traitement en complexe 'partiel'. Ils ont analysé les transitions B  $^2\Sigma$  - X  $^2\Sigma$  et A  $^2\Pi$  - X  $^2\Sigma$  en tenant compte de l'interaction entre les états B  $^2\Sigma$  et A  $^2\Pi$ . La valeur du paramètre spin-orbite obtenu est  $420 \text{ cm}^{-1}$ . Dans notre travail, cette valeur a chuté à  $390 \text{ cm}^{-1}$

du fait que l'interaction avec l'état  $A^2\Delta$  a été prise en compte. Les autres paramètres, en particulier T, sont en bon accord comme le montre le Tableau IV.1.2

	$A^2\Delta$	$A^2\Pi$	$B^2\Sigma$
$T_s$	9361	10539	11739
$T_c$	9376	10630	11527
$A_s$	239	632	-----
$A_c$	225	390	-----

Tableau IV.1.1

$A_s$  : valeur en  $\text{cm}^{-1}$  obtenue par le traitement simultané.

$A_c$  : valeur en  $\text{cm}^{-1}$  obtenue par le traitement du complexe.

	Paramètres ( $\text{cm}^{-1}$ )	$B^2\Sigma$	$A^2\Pi$
Gustafsson et al [6]	T	11527	10645
	A		420
ce travail	T	11527	10630
	A		390

Tableau IV.1.2

## IV.2 Comparaison des paramètres T, A du complexe et de ceux prévus par la théorie

Parmi les calculs théoriques faits sur les molécules du type BaX, cités dans l'introduction, nous avons comparé nos résultats avec ceux de Allouche [4], Törring [2] et de Westin [7]. Ces différents calculs présentent une nette discordance provenant essentiellement du choix du modèle théorique.

Dans le Tableau IV.2.1 sont portées les valeurs expérimentales et les valeurs théoriques. La dernière colonne montre le pourcentage de l'accord entre théorie et expérience.

En comparant nos résultats avec la théorie, on peut en conclure que seul le modèle du champ liant permet de reproduire correctement les énergies des trois premiers états excités de la molécule BaCl. L'accord est remarquable avec les valeurs récentes de Allouche *et al.* [4], en particulier pour l'état A'  $^2\Delta$ . Les erreurs relatives sur les énergies des trois états A'  $^2\Delta$ , A  $^2\Pi$  et B  $^2\Sigma$  ne dépassent pas 2 %. Les valeurs données par Törring et par Westin sont très différentes de nos valeurs expérimentales (erreurs relatives atteignent 32 %). Cependant le classement énergétique des états reste le même que celui observé expérimentalement. En ce qui concerne les paramètres spin-orbite des états A'  $^2\Delta$  et A  $^2\Pi$ , le modèle du champ liant n'a pas pu reproduire ces paramètres, l'erreur relative dépasse 23 %.

Pour l'état C  $^2\Pi$ , qui n'appartient pas au complexe, les calculs théoriques prédisent des énergies très différentes de notre valeur. Ce désaccord ne se limite pas seulement à la molécule BaCl mais s'étend à toute la série des halogénures d'alcalino-terreux.

Etats électroniques formant le Complexe	Energies des transitions en cm <sup>-1</sup>		Ecart en pourcentage par rapport à la théorie
A <sup>2</sup> Δ	T <sub>exp</sub>	9376	
	T a)	9381	0.05
	T b)	8770	6
	T c)	6294	33
A <sup>2</sup> Π	T <sub>exp</sub>	10630	
	T a)	10522	1
	T b)	10850	2
	T c)	7989	25
B <sup>2</sup> Σ	T <sub>exp</sub>	11527	
	T a)	11317	2
	T b)	12365	7
	T c)	10248	11

Tableau IV.2.1 : Energies des transitions et écarts par rapport à la théorie pour BaCl.

- a) valeurs données par Allouche *et al.* [4].
- b) valeurs données par Törring *et al.* [2].
- c) valeurs données par Westin *et al.* [7].

### IV.3 Comparaison avec l'hydrure et la série des halogénures

Dans le Tableau IV.3.1 sont reportées les valeurs de l'énergie, des paramètres spin-orbite et des paramètres d'interaction pour les molécules BaH [8], BaF [9] et BaCl. Les

données disponibles sur BaBr sont limitées, l'état  $^2\Delta$  n'a pas encore été mis en évidence. Seule est connue l'énergie non 'déperturbée' des états A  $^2\Pi$  et B  $^2\Sigma$  [10]. Pour la molécule BaI, des données expérimentales sont inexistantes.

Si l'on compare les valeurs obtenues dans ce travail à celles des molécules BaH et BaF, on constate que le paramètre d'interaction  $\eta$  augmente avec la masse de l'halogène alors que les constantes spin-orbite semblent relativement indépendantes.

Etats		BaH	BaF	BaCl	BaBr	BaI
B $^2\Sigma$	T	10953	13945	11527	11310	?
	$\eta$	389	470	526	?	?
A $^2\Pi$	T	9700	11980	10630	10289	?
	A	341	507	390	644	?
	$\alpha$	200	210	225	?	?
A' $^2\Delta$	T	9207	10939	9376	?	?
	A	217	192	225	?	?

Tableau IV.3.1 :

Comparaison des états électroniques de BaH, BaF, BaCl et BaBr : valeurs de T, A et constantes d'interaction spin-orbite (valeurs en  $\text{cm}^{-1}$ )

## V- Conclusion

La bonne connaissance des trois états électroniques formant un 'Complexe' a permis de les traiter comme un seul 'état'. Cette description fournit des paramètres moléculaires plus réalistes. L'accord avec les calculs théoriques les plus récents est excellent. Ce traitement n'a pas cependant abouti à une détermination de tous les paramètres d'interaction faute de données spectroscopiques au croisement. En effet aucune forme de perturbation n'a été observée dans nos spectres. On a cependant obtenu la variation vibrationnelle des constantes moléculaires, ce qui n'avait pu être obtenu pour les autres halogénures d'alcalino-terreux où  $\nu$  maximum observé est égal à 3.

## **Références du chapitre IV**

- [1] E. S. Rittner, *J. Chem. Phys.* 19, (1951) 1030.
- [2] T. Törring, W.E. Ernst and J. Kändler, *J. Chem. Phys.* 90 (1989) 4927.
- [3] S.F. Rice, H. Martin and R.W. Field, *J. Chem. Phys.* 82 (1985) 5023.
- [4] A.R. Allouche, G. Wannous and M. Aubert-Frécon, *Chem. Phys.* 170(1993) 11.
- [5] A. Allouche, Thèse de doctorat, Lyon, 1993.
- [6] G. Gustafsson, T. Gustavsson, H. Martin, *J. Mol. Spectrosc.* 131 (1988) 223.
- [7] E. Westin, A. Rosén, *Chem. Phys. Letters.* 149 ( 1988) 239.
- [8] A. Bernard, C. Effantin, J. D'Incan, G. Fabre, R. Stringat and R.F. Barrow, *Mol. Phys.* 67 (1989) 1-18.
- [9] A. Bernard, C. Effantin, J. D'Incan, J. Vergès and R.F. Barrow. *Mol. Phys.* 70 (1990) 747.
- [10] O. Launila and P. Royen, *Mol. Phys.* 82 (1994) 815.





## Conclusion

Le travail présenté dans ce mémoire a consisté en l'étude spectroscopique de la molécule BaCl.

L'utilisation de la technique de fluorescence induite par laser associée à la spectrométrie haute résolution par transformation de Fourier a permis d'obtenir des données à la fois extensives et précises à partir des spectres de deux variétés isotopiques de la molécule BaCl. Le but était de conduire une analyse approfondie de la structure rovibrationnelle des états électroniques peu excités de cette molécule. Cette étude a porté sur sept états électroniques à travers dix transitions électroniques.

En effet, l'excitation sélective par les lasers Kr<sup>+</sup>, Ar<sup>+</sup> et SaTi nous a permis d'analyser la fluorescence des transitions C <sup>2</sup>Π → X <sup>2</sup>Σ, C <sup>2</sup>Π → B <sup>2</sup>Σ, C <sup>2</sup>Π → A <sup>2</sup>Π, C <sup>2</sup>Π → A' <sup>2</sup>Δ, E <sup>2</sup>Σ → C <sup>2</sup>Π, F <sup>2</sup>Σ → C <sup>2</sup>Π, F <sup>2</sup>Σ → B <sup>2</sup>Σ, F <sup>2</sup>Σ → A <sup>2</sup>Π, B <sup>2</sup>Σ → X <sup>2</sup>Σ et A <sup>2</sup>Π → X <sup>2</sup>Σ. Ainsi nous avons mesuré plus de 8000 nombres d'ondes appartenant à 800 bandes. En général, ces raies se caractérisent par une bonne résolution et une cohérence de leurs positions, surtout les raies des spectres de fluorescence induite par le laser SaTi où le phénomène de l'affinement par laser a été observé. Ces nouveaux résultats expérimentaux et notamment ceux obtenus pour la première fois ( C <sup>2</sup>Π → A <sup>2</sup>Π, E <sup>2</sup>Σ → C <sup>2</sup>Π, C <sup>2</sup>Π → B <sup>2</sup>Σ ) ont permis une description très complète de spectres par l'observation d'un grand nombre d'états depuis l'état fondamental. Tous ces états ont pu être décrits jusqu'à des niveaux vibrationnels v = 20. Avec l'ensemble cohérent de ces données expérimentales une nouvelle détermination des paramètres moléculaires des sept états électroniques est obtenue. Cette détermination a été faite en deux étapes : une étude préliminaire de chaque état, ensuite un traitement simultané de toutes les données expérimentales des transitions observées. Ainsi nous avons pu calculer 300000 niveaux d'énergie ro-vibrationnels avec une précision de 4. 10<sup>-3</sup> cm<sup>-1</sup> (plus un nombre égal de

niveaux pour la variété isotopique  $^{138}\text{Ba}^{37}\text{Cl}$ ).

Dans la dernière partie, nous avons abordé l'étude du Complexe 'd' formé par les états électroniques  $A' \ ^2\Delta$ ,  $A \ ^2\Pi$  et  $B \ ^2\Sigma$ . Cette étude a été motivée, d'une part, par la caractérisation de l'état  $A' \ ^2\Delta$  avec ses deux composantes spin-orbite et, d'autre part, par la mise en évidence du mélange de l'état  $B \ ^2\Sigma$  avec l'état  $A \ ^2\Pi$  par l'interaction spin-orbite au cours de l'analyse des transitions  $B \ ^2\Sigma \rightarrow X \ ^2\Sigma$  et  $F \ ^2\Sigma \rightarrow B \ ^2\Sigma$ . L'analyse du complexe a apporté un certain nombre d'informations mais n'a pas permis de déterminer la valeur exacte de certains paramètres comme  $\alpha$  et  $\beta$ . Les résultats obtenus ont néanmoins été suffisants pour tester de façon satisfaisante les modèles théoriques.





*Appendice*

*Appendice*

---

Dans cet appendice sont donnés les niveaux d'énergies en  $\text{cm}^{-1}$  des états électroniques :  
 $X^2\Sigma$ ,  $A'^2\Delta$ ,  $A^2\Pi$ ,  $B^2\Sigma$ ,  $C^2\Pi$ ,  $F^2\Sigma$  et  $E^2\Sigma$

### I- les états $^2\Sigma$ :

Pour un niveau vibrationnel donné

\* La première colonne indique le niveau e

\* La deuxième colonne indique le niveau f

Pour l'état  $X^2\Sigma$ , v varie de  $v = 0$  à  $v = 20$ , de même pour l'isotope

Pour l'état  $B^2\Sigma$ , v varie de  $v = 0$  à  $v = 20$ , pour l'isotope de 0 à 16

Pour l'état  $F^2\Sigma$ , v varie de  $v = 0$  à  $v = 3$

Pour l'état  $E^2\Sigma$ , v varie de  $v = 0$  à  $v = 11$ , pour l'isotope de 0 à 12

### II- les états $^2\Pi$ :

Pour un niveau vibrationnel donné

\* La première colonne indique le niveau e de la composante  $3/2$

\* La deuxième colonne indique le niveau e de la composante  $1/2$

\* La troisième colonne indique le niveau f de la composante  $3/2$

\* La quatrième colonne indique le niveau f de la composante  $1/2$

Pour l'état  $A^2\Pi$ , v varie de  $v = 0$  à  $v = 10$

Pour l'état  $C^2\Pi$ , v varie de  $v = 0$  à  $v = 20$ , de même pour l'isotope

### II- l'état $^2\Delta$ :

Pour un niveau vibrationnel donné

\* La première colonne indique le niveau e de la composante  $5/2$

\* La deuxième colonne indique le niveau e de la composante  $3/2$

\* La troisième colonne indique le niveau f de la composante  $5/2$

\* La quatrième colonne indique le niveau f de la composante  $3/2$

Pour l'état  $A'^2\Delta$ , v varie de  $v = 0$  à  $v = 20$ , pour l'isotope de 0 à 18









\*\*\* 28-9-94 C-X C-A' C-A C-B B-X F-C F-B F-A E-C A-X\*\*\* these

NBR= 0712 MAXN=208 NCAL= 2 JFLD= 1 C0=0.5  
MULT= 2 IBM=726 IET= 7 IPARA=161

OSTATE CLASSIFICATION  
\*\*\*\*\*

LEVEL 1 REFERS TO XSI  
LEVEL 2 REFERS TO ADEL  
LEVEL 3 REFERS TO API  
LEVEL 4 REFERS TO BSI  
LEVEL 5 REFERS TO CFI  
LEVEL 6 REFERS TO FSI  
LEVEL 7 REFERS TO XSI

0 TOTAL NUMBER OF BANDS 726 TOTAL NUMBER OF PARAMETERS 161 TOTAL NUMBER OF CALCULATED LINES

MAXIMUM MEASURED N = 208 MAXIMUM CALCULATED N = 210

NTRANSITION= 10 NBR DE BANDES DANS CHAQUE TRANSITION=122102 31122157 33 33 29 94 3  
\*\*\* START ITERATIONS \*\*\*

TOTAL NUMBER OF MEASURED LINES 7641

$X^2\Sigma$	J	v = 0	v = 1	v = 2	
0.5	0.000	139.907	418.006	418.171	694.653
1.5	139.909	140.241	418.173	418.504	694.820
2.5	140.749	140.413	418.508	419.000	695.154
3.5	140.749	141.013	419.010	419.617	695.653
4.5	141.420	142.250	419.678	420.505	696.319
5.5	142.255	143.255	420.514	422.673	697.151
6.5	143.265	144.427	421.516	425.009	698.150
7.5	144.439	145.767	422.685	427.603	699.314
8.5	145.781	147.274	424.022	430.457	700.645
9.5	147.290	148.949	425.525	427.177	702.142
10.5	148.967	150.792	427.195	429.013	703.806
11.5	150.811	152.802	429.032	431.015	705.635
12.5	152.823	154.980	431.036	433.184	707.631
13.5	155.002	157.325	433.206	435.520	709.793
14.5	157.349	159.830	435.544	438.022	712.121
15.5	159.864	162.510	438.408	440.692	714.616
16.5	162.546	165.366	440.719	443.528	717.276
17.5	165.392	168.391	443.525	446.532	720.151
18.5	168.412	171.564	446.562	449.702	723.096
19.5	171.596	174.914	449.734	453.038	726.255
20.5	174.948	178.432	453.073	456.542	729.580
21.5	178.467	182.117	456.578	460.212	733.071
22.5	182.154	185.969	460.250	464.050	736.728
23.5	186.008	189.989	464.089	468.053	740.541
24.5	190.029	194.181	468.141	472.224	744.616
25.5	194.219	198.531	472.265	476.561	748.997
26.5	198.575	203.053	476.605	481.065	753.618
27.5	203.099	207.742	481.111	485.736	757.506
28.5	207.790	212.599	485.783	490.573	761.760
29.5	212.648	217.623	490.622	495.577	766.379
30.5	217.674	222.814	495.628	500.747	771.365
31.5	222.966	228.172	500.800	506.081	776.719
32.5	228.227	233.698	506.138	511.588	782.433
33.5	233.754	239.391	511.644	517.259	787.917
34.5	239.448	245.251	517.315	523.095	793.566

101.5	999.928	1016.724	1274.747	1291.476	1547.953
102.5	1016.896	1033.854	1291.647	1308.537	1564.785
103.5	1034.027	1051.147	1308.709	1325.767	1581.779
104.5	1051.219	1068.502	1326.014	1343.147	1600.000
105.5	1068.782	1086.225	1343.324	1360.697	1618.557
106.5	1086.404	1104.009	1360.875	1378.410	1637.334
107.5	1104.190	1121.957	1378.589	1396.285	1656.330
108.5	1122.139	1140.068	1396.466	1414.323	1675.549
109.5	1140.252	1158.342	1414.506	1432.524	1694.989
110.5	1158.528	1176.779	1432.708	1450.887	1714.652
111.5	1176.967	1195.380	1451.072	1469.412	1734.547
112.5	1195.569	1214.143	1469.600	1488.100	1754.674
113.5	1214.334	1233.070	1488.290	1506.950	1775.033
114.5	1233.262	1252.159	1507.141	1525.962	1795.628
115.5	1252.353	1271.411	1526.155	1545.136	1816.465
116.5	1271.607	1290.825	1545.331	1564.472	1837.548
117.5	1291.023	1310.402	1564.669	1583.971	1858.877
118.5	1310.602	1330.142	1584.169	1603.630	1880.458
119.5	1330.343	1350.044	1603.830	1623.452	1902.295
120.5	1350.247	1370.109	1623.654	1643.355	1924.394
121.5	1370.313	1390.335	1643.639	1663.380	1946.659
122.5	1390.541	1410.724	1663.785	1683.537	1969.095
123.5	1410.932	1431.274	1684.093	1703.854	1991.706
124.5	1431.484	1451.987	1704.563	1724.343	2014.495
125.5	1452.199	1472.862	1725.193	1745.077	2037.466
126.5	1473.073	1493.898	1746.119	1766.025	2060.623
127.5	1494.113	1515.096	1767.398	1787.157	2083.970
128.5	1515.313	1536.456	1788.052	1808.451	2107.511
129.5	1536.674	1557.977	1809.327	1830.004	2131.250
130.5	1558.197	1579.659	1830.763	1851.839	2155.191
131.5	1579.881	1601.503	1852.359	1873.994	2179.337
132.5	1601.726	1623.508	1874.116	1896.380	2203.687
133.5	1623.733	1645.674	1896.034	1918.986	2228.244
134.5	1645.901	1668.001	1918.112	1941.812	2253.010
135.5	1668.230	1690.489	1940.350	1964.850	2277.987
136.5	1690.719	1713.138	1962.748	1988.077	2303.176
137.5	1713.370	1735.947	1985.307	2011.492	2328.577
138.5	1736.181	1758.918	2008.026	2035.130	2354.182
139.5	1759.153	1782.048	2030.904	2058.987	2379.993
140.5	1782.285	1805.339	2053.943	2083.053	2405.910
141.5	1805.578	1828.790	2077.141	2107.329	2431.944
142.5	1829.025	1852.408	2100.492	2131.814	2458.195
143.5	1852.644	1876.173	2124.016	2156.507	2484.663
144.5	1876.417	1900.105	2147.693	2181.409	2511.348
145.5	1900.351	1924.196	2171.529	2206.520	2538.250
146.5	1924.444	1948.447	2195.524	2231.843	2565.370
147.5	1948.697	1972.858	2219.678	2257.368	2592.707
148.5	1973.109	1997.429	2243.991	2283.103	2620.261
149.5	1997.682	2022.158	2268.463	2309.047	2648.033
150.5	2022.413	2047.047	2293.094	2335.200	2676.024
151.5	2047.303	2072.096	2317.884	2361.564	2704.235
152.5	2072.353	2097.303	2342.832	2388.139	2732.667
153.5	2097.563	2122.669	2367.938	2414.924	2761.321
154.5	2122.931	2148.199	2393.203	2441.927	2790.197
155.5	2148.458	2173.879	2418.626	2469.144	2819.296
156.5	2174.143	2199.721	2444.207	2496.571	2848.617
157.5	2199.985	2225.724	2469.842	2524.209	2878.159
158.5	2225.991	2251.882	2495.843	2552.056	2907.923
159.5	2252.152	2278.200	2521.898	2580.113	2937.907
160.5	2278.471	2304.676	2548.110	2608.380	2968.111
161.5	2304.949	2331.310	2574.479	2636.857	2998.535
162.5	2331.585	2358.102	2601.006	2665.544	3029.178
163.5	2358.379	2385.052	2627.691	2694.441	3060.040
164.5	2385.322	2412.164	2654.532	2723.548	3091.121
165.5	2412.439	2439.424	2681.931	2752.865	3122.431
166.5	2439.706	2466.847	2709.686	2782.392	3153.970

35.5	245.310	251.278	523.154	529.098	799.380	805.301	35.5
36.5	251.339	257.472	529.158	535.267	805.361	811.446	36.5
37.5	257.535	263.833	535.329	541.603	811.508	817.756	37.5
38.5	263.898	270.362	541.667	548.105	817.820	824.233	38.5
39.5	270.428	277.057	548.171	554.774	824.298	830.875	39.5
40.5	277.125	283.920	554.841	561.609	830.941	837.682	40.5
41.5	283.920	290.945	561.678	568.617	837.706	844.654	41.5
42.5	290.920	298.145	568.681	575.778	844.726	851.794	42.5
43.5	298.218	305.509	575.850	583.112	851.866	859.099	43.5
44.5	305.823	313.039	583.106	590.612	859.172	866.569	44.5
45.5	313.115	320.736	590.680	598.278	866.644	874.205	45.5
46.5	320.814	328.600	598.356	606.111	874.281	882.006	46.5
47.5	328.679	336.630	606.190	614.109	882.084	889.972	47.5
48.5	336.755	344.828	614.276	622.274	890.052	898.104	48.5
49.5	344.910	353.192	622.356	630.604	898.186	906.297	49.5
50.5	353.276	361.722	630.688	639.101	906.485	914.654	50.5
51.5	361.809	370.420	639.187	647.764	914.949	923.492	51.5
52.5	370.508	379.284	647.851	656.592	923.579	932.825	52.5
53.5	379.373	388.314	656.681	665.587	932.733	941.243	53.5
54.5	388.406	397.511	665.677	674.747	941.333	950.367	54.5
55.5	397.604	406.871	674.829	684.073	950.459	959.556	55.5
56.5	406.970	416.405	684.167	693.565	959.749	968.961	56.5
57.5	416.501	426.101	693.661	703.223	969.205	978.528	57.5
58.5	426.199	435.964	703.320	713.046	978.825	988.312	58.5
59.5	436.064	445.993	713.145	723.035	988.611	998.461	59.5
60.5	446.094	456.189	723.136	733.190	998.561	1008.875	60.5
61.5	456.292	466.550	733.291	743.510	1008.677	1019.454	61.5
62.5	466.650	477.078	743.595	753.995	1019.357	1029.297	62.5
63.5	477.184	487.772	754.101	764.647	1030.202	1039.302	63.5
64.5	487.880	498.632	764.754	775.463	1040.012	1050.679	64.5
65.5	498.742	509.658	775.572	786.445	1050.787	1061.617	65.5
66.5	509.769	520.850	786.556	797.592	1061.727	1072.719	66.5
67.5	520.963	532.208	797.705	808.905	1072.831	1083.986	67.5
68.5	532.323	543.732	809.019	820.383	1084.100	1095.418	68.5
69.5	543.848	555.422	820.498	832.025	1095.533	1107.014	69.5
70.5	555.540	567.277	832.143	843.834	1107.131	1118.775	70.5
71.5	567.397	579.298	843.953	855.807	1118.893	1130.700	71.5
72.5	579.420	591.485	855.927	867.945	1130.820	1142.789	72.5
73.5	591.609	603.838	868.067	880.248	1142.911	1155.043	73.5
74.5	603.963	616.356	8				

x²Σ

3

4

5

Table with 10 columns of numerical data, rows 49.5 to 114.5.

Table with 10 columns of numerical data, rows 115.5 to 179.5.

Table with 4 columns (v=6, v=7, v=8) and 10 columns of numerical data, rows 0.5 to 62.5.

Table with 10 columns of numerical data, rows 63.5 to 128.5.

6		7		8	
129.5	3148.576	3169.366	3411.672	3432.377	3473.199
130.5	3169.578	3190.523	3432.587	3453.447	3494.021
131.5	3190.737	3211.838	3453.659	3474.674	3515.014
132.5	3212.053	3233.310	3474.888	3496.058	3537.155
133.5	3233.527	3254.939	3496.273	3517.598	3577.452
134.5	3255.157	3276.725	3517.915	3539.294	3600.295
135.5	3276.945	3298.668	3539.512	3561.146	3622.057
136.5	3298.891	3320.767	3561.319	3583.154	3643.975
137.5	3320.991	3343.024	3583.377	3605.119	3664.000
138.5	3343.249	3365.436	3605.543	3627.460	3682.276
139.5	3365.663	3388.006	3627.865	3650.116	3700.550
140.5	3388.234	3410.731	3650.343	3672.744	3718.825
141.5	3410.961	3433.613	3672.976	3695.335	3735.145
142.5	3433.846	3456.651	3695.765	3718.478	3750.739
143.5	3456.884	3479.845	3718.710	3741.577	3765.764
144.5	3480.080	3503.195	3741.810	3764.430	3780.274
145.5	3503.432	3526.701	3765.065	3788.233	3794.321
146.5	3526.939	3550.363	3788.476	3811.803	3807.945
147.5	3550.603	3574.180	3812.041	3835.521	3821.145
148.5	3574.421	3598.152	3835.762	3859.395	3834.000
149.5	3598.396	3622.281	3859.637	3883.423	3846.515
150.5	3622.525	3646.564	3883.667	3907.606	3858.780
151.5	3646.810	3671.002	3907.851	3931.944	3870.805
152.5	3671.251	3695.594	3932.190	3956.435	3882.590
153.5	3695.845	3720.344	3956.684	3981.081	3894.135
154.5	3720.596	3745.200	3981.331	4005.822	3905.450
155.5	3745.501	3770.206	4006.133	4030.636	3916.545
156.5	3770.561	3795.318	4031.089	4055.544	3927.420
157.5	3795.775	3820.585	4056.199	4080.559	3938.085
158.5	3821.144	3846.007	4081.463	4105.622	3948.540
159.5	3846.667	3871.683	4106.880	4130.781	3958.785
160.5	3872.344	3897.612	4132.451	4156.057	3968.820
161.5	3898.176	3923.896	4158.175	4181.461	3978.645
162.5	3924.161	3950.534	4184.053	4207.011	3988.270
163.5	3950.300	3977.525	4210.084	4232.716	3997.705
164.5	3976.594	4004.770	4236.267	4258.584	4006.950
165.5	4003.040	4032.269	4262.604	4284.614	4016.005
166.5	4029.641	4060.019	4289.094	4310.805	4024.870
167.5	4056.394	4088.026	4315.737	4337.157	4033.545
168.5	4083.301	4116.294	4342.532	4363.670	4042.030
169.5	4110.361	4144.829	4369.479	4390.345	4050.325
170.5	4137.574	4173.637	4396.579	4417.181	4058.430
171.5	4164.940	4202.719	4423.831	4444.181	4066.345
172.5	4192.459	4232.074	4451.235	4471.346	4074.070
173.5	4220.130	4261.709	4478.791	4498.676	4081.605
174.5	4247.954	4291.623	4506.499	4526.179	4088.950
175.5	4275.930	4321.827	4534.359	4553.854	4096.105
176.5	4304.059	4352.409	4562.374	4581.699	4103.070
177.5	4332.339	4383.460	4590.533	4609.714	4109.845
178.5	4360.772	4414.982	4618.847	4637.901	4116.430
179.5	4389.356	4447.977	4647.312	4666.269	4122.825

j	v = 9	v = 10	v = 11
0.5	2586.457	2586.617	2850.405
1.5	2586.620	2586.940	2850.567
2.5	2586.944	2587.424	2850.890
3.5	2587.430	2588.070	2851.379
4.5	2588.077	2588.877	2852.010
5.5	2588.864	2589.846	2852.823
6.5	2589.856	2590.978	2853.790
7.5	2590.980	2592.268	2854.917
8.5	2592.282	2593.722	2856.206
9.5	2593.737	2595.337	2857.655
10.5	2595.354	2597.114	2859.269

77.5	3070.763	3083.188	3332.730	3345.104	3593.142	3605.466	77.5
78.5	3083.313	3095.895	3345.228	3357.579	3605.589	3618.069	78.5
79.5	3096.021	3108.762	3357.819	3372.573	3618.193	3630.830	79.5
80.5	3109.893	3121.969	3372.915	3387.620	3630.956	3643.749	80.5
81.5	3123.916	3135.472	3388.673	3402.727	3643.876	3656.855	81.5
82.5	3138.013	3149.281	3404.695	3417.895	3656.955	3670.060	82.5
83.5	3148.448	3161.819	3410.996	3432.412	3670.191	3683.452	83.5
84.5	3161.953	3175.481	3423.545	3447.018	3683.584	3697.002	84.5
85.5	3175.617	3189.302	3437.153	3461.783	3697.136	3710.710	85.5
86.5	3189.439	3203.282	3451.915	3476.703	3710.945	3724.575	86.5
87.5	3203.421	3217.421	3466.833	3491.783	3724.712	3738.598	87.5
88.5	3217.561	3231.718	3482.095	3507.024	3738.736	3752.778	88.5
89.5	3231.860	3246.174	3497.165	3522.429	3752.918	3767.115	89.5
90.5	3246.318	3260.789	3512.520	3537.986	3767.257	3781.610	90.5
91.5	3260.934	3275.562	3527.120	3553.688	3781.753	3796.262	91.5
92.5	3275.709	3290.494	3536.834	3569.521	3796.601	3811.071	92.5
93.5	3290.643	3305.584	3551.706	3585.587	3811.217	3826.037	93.5
94.5	3305.734	3320.833	3566.736	3597.971	3826.185	3841.160	94.5
95.5	3320.984	3336.240	3581.923	3611.676	3841.333	3856.440	95.5
96.5	3336.393	3351.805	3597.268	3625.703	3856.591	3871.877	96.5
97.5	3351.960	3367.528	3612.771	3640.052	3872.030	3887.471	97.5
98.5	3367.684	3383.409	3628.431	3654.721	3887.626	3903.222	98.5
99.5	3383.567	3399.444	3644.244	3669.710	3903.379	3919.129	99.5
100.5	3399.608	3415.644	3660.223	3685.019	3919.287	3935.193	100.5
101.5	3415.807	3432.201	3675.355	3699.828	3935.352	3951.414	101.5
102.5	3432.169	3448.914	3690.644	3715.147	3951.574	3967.790	102.5
103.5	3448.678	3465.783	3706.191	3730.984	3968.051	3984.324	103.5
104.5	3465.350	3482.812	3722.000	3747.342	3984.847	4001.013	104.5
105.5	3482.180	3499.990	3742.455	3764.228	4001.178	4017.859	105.5
106.5	3499.167	3516.141	3759.372	3781.645	4018.026	4034.861	106.5
107.5	3516.312	3533.441	3776.446	3799.505	4035.029	4052.019	107.5
108.5	3533.614	3550.899	3793.677	3817.891	4052.189	4069.333	108.5
109.5	3551.073	3568.514	3811.064	3836.808	4069.730	4086.807	109.5
110.5	3568.690	3586.286	3828.608	3856.242	4087.456	4104.428	110.5
111.5	3586.463	3604.215	3846.300	3876.293	4104.603	4122.199	111.5
112.5	3604.394	3622.302	3864.165	3896.958	4122.366	4140.216	112.5
113.5	3622.482	3640.545	3882.178	3918.241	4140.324	4158.233	113.5
114.5	3640.727	3658.945	3900.348	3940.191	4158.418	4176.477	114.5
115.5	3659.129	3677.501	3918.673	3962.817	4176.648	4194.890	115.5
116.5	3677.686	3696.214	3937.155	3986.007	4195.073	4213.449	116.5
117.5	3696.401	3715.084	3955.792	3999.949	4213.633	4232.163	117.5
118.5	3715.273	3734.111	3974.586	4023.346	4232.336	4251.032	118.5
119.5	3734.301	3753.293	3993.535	4047.449	4251.290	4270.059	119.5
120.5	3753.485	3772.632	4012.640	4072.208	4270.245	4289.235	120.5
121.5	3772.825	3792.127	4031.900	4097.612	4289.426	4308.569	121.5
122.5	3792.322	3811.778	4051.316	4123.693	4308.762	4328.058	122.5
123.5	3811.975	3831.586	4070.880	4150.460	4328.252	4347.702	123.5
124.5	3831.784	3851.549	4090.615	4177.934	4347.897	4367.500	124.5
125.5	3851.749	3871.668	4110.497	4206.127	4367.697	4387.452	125.5
126.5	3871.869	3891.943	4130.534	4235.034	4387.651	4407.559	126.5
127.5	3892.146	3912.373	4150.727	4264.659	4407.870	4427.825	127.5
128.5	3912.578	3932.959	4171.074	4295.012	4428.203	4448.256	128.5
129.5	3933.165	3953.700	4191.576	4326.027	4448.740	4468.850	129.5
130.5	3953.908	3974.597	4212.233	4357.414	4469.501	4489.593	130.5
131.5	3974.807	3995.644	4233.045	4389.387	4489.736	4510.407	131.5
132.5	3995.860	4016.856	4254.012	4421.951	4510.613	4531.392	132.5
133.5	4017.069	4038.219	4275.132	4455.117	4531.648	4552.546	133.5
134.5	4038.433	4059.736	4296.400	4488.893	4552.969	4573.868	134.5
135.5	4059.952	4081.408	4317.837	4523.205	4574.376	4595.355	135.5
136.5	4081.625	4103.235	4339.421	4558.911	4595.061	4617.011	136.5
137.5	4103.454	4125.216	4361.159	4594.831	4617.831	4638.900	137.5
138.5	4125.437	4147.352	4383.051	4631.076	4639.118	4661.053	138.5
139.5	4147.575	4169.643	4405.096	4667.647	4661.572	4683.478	139.5
140.5	4169.869	4192.088	4427.296	4704.552	4684.379	4706.168	140.5
141.5	4192.313	4214.699	4449.649	4741.807	4707.534	4729.128	141.5
142.5	4214.914	4237.440	4472.156	4779.414	4731.552	4752.861	142.5

143.5	4237.669	4260.348	4494.016	4517.401	4750.418	4772.909	143.5
144.5	4260.579	4283.109	4516.630	4540.027	4773.136	4795.778	144.5
145.5	4283.641	4306.024	4540.597	4563.485	4796.007	4818.934	145.5
146.5	4306.850	4329.993	4563.711	4587.786	4819.031	4842.375	146.5
147.5	4330.220	4354.015	4586.990	4612.931	4842.207	4866.100	147.5
148.5	4353.752	4377.191	4610.416	4638.938	4866.535	4890.140	148.5
149.5	4377.430	4401.020	4633.995	4665.807	4891.016	4914.415</	

X<sup>2</sup>

12

13

14

25.5	3425.527	3429.635	3484.610	3488.701	3542.156	3546.231	25.5
26.5	3429.676	3433.942	3488.742	3492.991	3546.272	3550.503	26.5
27.5	3433.985	3438.409	3493.033	3497.436	3550.545	3554.933	27.5
28.5	3438.450	3443.020	3497.403	3502.046	3554.977	3559.521	28.5
29.5	3443.080	3447.820	3502.091	3506.812	3559.566	3564.267	29.5
30.5	3447.867	3452.765	3506.958	3511.736	3564.313	3569.171	30.5
31.5	3452.813	3457.836	3511.936	3516.819	3569.217	3574.133	31.5
32.5	3457.919	3463.126	3517.166	3522.060	3574.282	3579.153	32.5
33.5	3463.183	3468.556	3522.511	3527.460	3579.504	3584.303	33.5
34.5	3468.607	3474.135	3527.973	3533.019	3584.883	3590.366	34.5
35.5	3474.190	3479.876	3533.773	3538.736	3590.620	3596.600	35.5
36.5	3479.933	3485.774	3539.792	3544.612	3596.515	3603.011	36.5
37.5	3485.834	3491.835	3546.029	3550.646	3602.648	3609.678	37.5
38.5	3491.916	3498.066	3552.436	3556.839	3609.019	3616.589	38.5
39.5	3498.116	3504.430	3559.006	3563.189	3615.548	3623.721	39.5
40.5	3504.493	3510.967	3565.721	3569.699	3622.316	3631.071	40.5
41.5	3511.031	3517.662	3572.622	3576.366	3629.056	3638.635	41.5
42.5	3517.728	3524.516	3579.638	3583.197	3635.951	3646.411	42.5
43.5	3524.584	3531.529	3586.773	3590.177	3643.000	3654.398	43.5
44.5	3531.599	3538.702	3594.019	3597.311	3650.203	3662.596	44.5
45.5	3538.772	3546.033	3597.389	3604.620	3657.561	3670.994	45.5
46.5	3546.105	3553.522	3604.992	3612.179	3665.074	3679.591	46.5
47.5	3553.596	3561.171	3612.520	3619.996	3672.741	3688.387	47.5
48.5	3561.246	3568.979	3620.471	3628.073	3680.566	3697.384	48.5
49.5	3569.055	3576.945	3628.740	3636.416	3688.857	3706.581	49.5
50.5	3577.023	3585.070	3637.329	3645.025	3697.260	3715.976	50.5
51.5	3585.149	3593.353	3646.236	3653.900	3705.777	3725.561	51.5
52.5	3593.435	3601.796	3655.473	3663.039	3714.996	3735.337	52.5
53.5	3601.878	3610.400	3664.948	3672.433	3724.525	3745.295	53.5
54.5	3610.481	3619.156	3674.661	3682.074	3734.364	3755.434	54.5
55.5	3619.242	3628.067	3684.622	3691.967	3744.503	3765.744	55.5
56.5	3628.161	3637.135	3694.839	3702.122	3754.942	3776.225	56.5
57.5	3637.239	3646.365	3705.314	3712.551	3765.681	3786.976	57.5
58.5	3646.475	3655.758	3716.055	3723.264	3776.719	3797.996	58.5
59.5	3655.870	3665.319	3727.069	3734.261	3788.056	3809.285	59.5
60.5	3665.423	3675.039	3738.359	3745.542	3799.691	3820.842	60.5
61.5	3675.135	3684.908	3750.034	3757.107	3811.624	3832.666	61.5
62.5	3685.004	3694.939	3762.093	3768.956	3823.663	3844.757	62.5
63.5	3695.032	3705.118	3774.446	3781.089	3835.904	3857.114	63.5
64.5	3705.218	3715.461	3787.093	3793.506	3848.347	3869.736	64.5
65.5	3715.563	3725.962	3799.944	3806.207	3861.092	3882.623	65.5
66.5	3726.065	3736.620	3813.008	3819.292	3874.139	3895.774	66.5
67.5	3736.727	3747.437	3826.285	3832.664	3887.487	3909.190	67.5
68.5	3747.548	3758.412	3840.786	3846.322	3901.136	3922.862	68.5
69.5	3758.519	3769.546	3855.513	3860.265	3915.079	3936.795	69.5
70.5	3769.654	3780.834	3870.566	3875.404	3929.318	3950.988	70.5
71.5	3780.945	3792.283	3885.945	3890.739	3943.852	3965.441	71.5
72.5	3792.395	3803.888	3901.660	3906.270	3958.681	3980.164	72.5
73.5	3804.002	3815.652	3917.713	3922.007	3973.805	3995.156	73.5
74.5	3815.767	3827.575	3934.114	3938.050	3989.224	4010.417	74.5
75.5	3827.690	3839.658	3950.863	3953.803	4004.937	4025.946	75.5
76.5	3839.771	3851.904	3967.966	3969.964	4020.956	4041.743	76.5
77.5	3852.008	3864.311	3985.423	3986.443	4037.274	4057.807	77.5
78.5	3864.403	3876.882	4003.244	4003.277	4053.891	4074.134	78.5
79.5	3876.956	3889.540	4021.437	4019.674	4070.720	4090.723	79.5
80.5	3889.665	3902.306	4040.004	4036.437	4087.773	4107.575	80.5
81.5	3902.533	3915.179	4058.945	4053.464	4105.050	4124.698	81.5
82.5	3915.557	3928.160	4078.260	4070.863	4122.551	4142.091	82.5
83.5	3928.738	3941.251	4097.951	4088.644	4140.270	4159.754	83.5
84.5	3942.077	3954.440	4118.028	4106.807	4158.217	4177.687	84.5
85.5	3955.573	3967.735	4138.491	4125.252	4176.392	4195.890	85.5
86.5	3969.225	3981.134	4159.340	4144.061	4194.797	4214.363	86.5
87.5	3983.035	3994.637	4180.575	4163.556	4213.432	4233.106	87.5
88.5	3997.001	4008.244	4202.206	4183.465	4232.347	4252.119	88.5
89.5	4011.124	4021.963	4224.231	4203.724	4251.522	4271.402	89.5
90.5	4025.404	4035.792	4246.760	4224.427	4270.957	4290.955	90.5

157.5	5334.996	5359.488	5586.138	5610.528	5835.756	5860.044	157.5
158.5	5359.736	5384.377	5610.774	5635.312	5860.289	5884.724	158.5
159.5	5384.627	5409.117	5635.561	5660.246	5884.970	5909.553	159.5
160.5	5409.468	5434.006	5660.496	5685.300	5909.801	5934.530	160.5
161.5	5434.860	5459.046	5685.581	5710.476	5934.800	5959.656	161.5
162.5	5460.201	5484.235	5710.816	5735.784	5959.998	5984.931	162.5
163.5	5486.392	5509.575	5736.219	5761.224	5985.352	6010.359	163.5
164.5	5513.333	5535.063	5761.732	5786.796	6010.880	6035.934	164.5
165.5	5541.024	5560.702	5787.414	5812.508	6036.612	6061.665	165.5
166.5	5569.465	5586.491	5813.244	5838.360	6062.503	6087.551	166.5
167.5	5598.656	5612.432	5839.224	5864.364	6088.654	6113.592	167.5
168.5	5628.597	5638.523	5865.351	5890.512	6114.975	6139.796	168.5
169.5	5659.288	5664.764	5891.628	5916.816	6137.576	6166.163	169.5
170.5	5690.729	5691.165	5918.151	5943.276	6160.407	6192.699	170.5
171.5	5722.920	5717.716	5944.842	5969.892	6183.576	6219.498	171.5
172.5	5755.861	5748.454	5971.684	5996.664	6206.992	6246.564	172.5
173.5	5789.552	5779.245	5998.692	6023.592	6230.736	6273.897	173.5
174.5	5823.993	5809.136	6025.872	6050.684	6254.808	6301.407	174.5
175.5	5859.184	5839.129	6052.128	6077.936	6279.104	6329.092	175.5
176.5	5895.125	5869.222	6079.448	6105.344	6303.624	6356.953	176.5
177.5	5931.816	5900.415	6107.112	6132.912	6328.376	6385.089	177.5
178.5	5969.257	5931.708	6134.928	6160.640	6353.360	6413.402	178.5
179.5	6007.448	5963.201	6162.808	6188.528	6378.576	6441.893	179.5

	v = 15	v = 16	v = 17				
0.5	4146.922	4147.078	4401.629	4401.784	4654.820	4654.975	0.5
1.5	4147.080	4147.373	4402.112	4402.267	4655.304	4655.459	1.5
2.5	4147.373	4147.856	4402.601	4402.756	4655.791	4655.946	2.5
3.5	4147.856	4148.439	4403.194	4403.349	4656.280	4656.335	3.5
4.5	4148.439	4149.122	4403.792	4403.947	4656.771	4656.826	4.5
5.5	4149.122	4150.005	4404.395	4404.550	4657.264	4657.319	5.5
6.5	4150.005	4151.188	4405.003	4405.158	4657.760	4657.815	6.5
7.5	4151.188	4152.571	4405.616	4405.771	4658.259	4658.313	7.5
8.5	4152.571	4154.154	4406.234	4406.389	4658.760	4658.813	8.5
9.5	4154.154	4155.937	4406.857	4407.012	4659.263	4659.315	9.5
10.5	4155.937	4157.920	4407.485	4407.640	4659.769	4659.819	10.5
11.5	4157.920	4160.103	4408.118	4408.273	4660.276	4660.325	11.5
12.5	4160.103	4162.486	4408.756	4408.911	4660.784	4660.832	12.5
13.5	4162.486	4165.069	4409.400	4409.554	4661.293	4661.341	13.5
14.5	4165.069	4167.852	4410.049	4410.202	4661.804	4661.850	14.5
15.5	4167.852	4170.835	4410.703	4410.855	4662.316	4662.359	15.5
16.5	4170.835	4174.018	4411.362	4411.514	4662.830	4662.916	16.5
17.5	4174.018	4177.401	4412.026	4412.178	4663.345	4663.481	17.5
18.5	4177.401	4180.984	4412.694	4412.846	4663.861	4664.056	18.5
19.5	4180.984	4184.767	4413.367	4413.519	4664.378	4664.639	19.5
20.5	4184.767	4188.750	4414.045	4414.196	4664.896	4665.229	20.5
21.5	4188.750	4192.933	4414.728	4414.878	4665.415	4665.826	21.5
22.5	4192.933	4197.316	4415.415	4415.564	4665.936	4666.429	22.5
23.5	4197.316	4201.900	4416.106	4416.254	4666.458	4667.037	23.5
24.5	4201.900	4206.683	4416.801	4416.948	4666.981	4667.650	24.5
25.5	4206.683	4211.666	4417.500	4417.646	4667.506	4668.267	25.5
26.5	4211.666	4216.849	4418.203	4418.348	4668.032	4668.888	26.5
27.5	4216.849	4222.232	4418.910	4419.054	4668.559	4669.513	27.5
28.5	4222.232	4227.815	4419.620	4419.764	4669.087	4670.142	28.5
29.5	4227.815	4233.598	4420.333	4420.478	4669.617	4670.775	29.5
30.5	4233.598	4239.581	4421.049	4421.195	4670.148	4671.412	30.5
31.5	4239.581	4245.764	4421.768	4421.915	4670.680		

105.5	5020.698	5037.104	5271.767	5288.105	5521.325	5537.595	105.5
106.5	5037.466	5053.825	5288.105	5304.756	5537.756	5554.176	106.5
107.5	5053.989	5070.699	5304.919	5329.559	5554.336	5570.709	107.5
108.5	5070.865	5087.727	5321.724	5358.516	5571.103	5587.595	108.5
109.5	5087.894	5104.907	5338.602	5385.625	5587.959	5604.831	109.5
110.5	5105.076	5122.241	5355.792	5412.806	5604.998	5622.020	110.5
111.5	5122.412	5139.728	5373.055	5439.300	5622.188	5639.361	111.5
112.5	5139.900	5157.369	5390.470	5465.907	5639.530	5656.853	112.5
113.5	5157.542	5175.162	5408.038	5492.584	5657.024	5674.497	113.5
114.5	5175.336	5193.107	5425.758	5519.300	5672.669	5692.292	114.5
115.5	5193.284	5211.206	5443.630	5546.178	5692.466	5710.239	115.5
116.5	5211.384	5229.457	5461.654	5573.255	5710.415	5728.338	116.5
117.5	5229.637	5247.861	5479.831	5599.579	5728.515	5746.587	117.5
118.5	5248.042	5266.410	5498.159	5616.457	5746.766	5764.988	118.5
119.5	5266.600	5285.126	5516.639	5633.088	5765.168	5783.540	119.5
120.5	5285.349	5303.987	5535.271	5650.370	5783.721	5802.242	120.5
121.5	5304.173	5323.001	5554.054	5667.302	5802.426	5821.096	121.5
122.5	5323.188	5342.166	5572.989	5684.000	5821.281	5840.101	122.5
123.5	5342.355	5361.484	5592.075	5611.124	5840.287	5859.256	123.5
124.5	5361.674	5380.953	5611.313	5630.512	5859.444	5878.562	124.5
125.5	5381.145	5400.575	5630.702	5650.051	5878.751	5898.018	125.5
126.5	5400.768	5420.348	5650.243	5669.741	5898.209	5917.625	126.5
127.5	5420.543	5440.272	5669.934	5689.582	5917.818	5937.382	127.5
128.5	5440.468	5460.349	5689.737	5709.574	5937.576	5957.288	128.5
129.5	5460.547	5480.577	5709.707	5729.716	5957.485	5977.348	129.5
130.5	5480.776	5500.956	5729.915	5750.010	5977.545	5997.553	130.5
131.5	5501.157	5521.406	5750.210	5770.454	5997.754	6017.913	131.5
132.5	5521.689	5542.160	5770.655	5791.048	6018.112	6038.421	132.5
133.5	5542.372	5563.001	5791.251	5811.793	6038.622	6059.078	133.5
134.5	5563.207	5583.985	5811.998	5832.689	6059.291	6079.885	134.5
135.5	5584.192	5605.119	5832.958	5853.734	6080.090	6100.842	135.5
136.5	5605.328	5626.405	5853.942	5874.930	6101.048	6121.943	136.5
137.5	5626.615	5647.841	5875.139	5896.276	6122.156	6143.203	137.5
138.5	5648.053	5669.428	5896.486	5917.771	6143.413	6164.608	138.5
139.5	5669.641	5691.165	5917.984	5939.417	6164.810	6186.162	139.5
140.5	5691.380	5713.052	5939.631	5961.212	6186.374	6207.865	140.5
141.5	5713.269	5735.090	5961.422	5983.157	6208.079	6229.717	141.5
142.5	5735.308	5757.278	5983.374	6005.251	6229.932	6251.717	142.5
143.5	5757.498	5779.616	6005.470	6027.495	6251.934	6273.867	143.5
144.5	5779.838	5802.104	6027.761	6049.888	6274.085	6296.145	144.5
145.5	5802.327	5824.742	6050.209	6072.430	6296.385	6318.552	145.5
146.5	5824.967	5847.530	6072.935	6095.121	6318.833	6341.097	146.5
147.5	5847.756	5870.467	6095.466	6117.961	6341.430	6363.780	147.5
148.5	5870.694	5893.553	6118.187	6140.950	6364.175	6386.611	148.5
149.5	5893.783	5916.790	6141.178	6164.088	6387.068	6409.681	149.5
150.5	5917.020	5940.175	6164.317	6187.374	6410.109	6432.980	150.5
151.5	5940.407	5963.339	6187.605	6210.809	6433.298	6456.404	151.5
152.5	5963.943	5986.659	6211.042	6234.393	6456.635	6479.987	152.5
153.5	5987.629	6011.226	6234.427	6258.128	6480.119	6503.742	153.5
154.5	6011.463	6035.207	6258.360	6282.004	6503.752	6527.676	154.5
155.5	6035.446	6058.337	6282.241	6306.032	6527.532	6551.782	155.5
156.5	6059.577	6080.616	6306.270	6330.207	6551.459	6575.956	156.5
157.5	6083.858	6108.043	6330.448	6354.531	6575.533	6599.515	157.5
158.5	6108.286	6132.618	6354.773	6379.002	6599.755	6623.382	158.5
159.5	6132.863	6157.382	6379.246	6403.621	6624.123	6647.397	159.5
160.5	6157.589	6182.214	6403.806	6428.393	6648.639	6671.560	160.5
161.5	6182.427	6207.104	6428.634	6453.301	6673.301	6695.884	161.5
162.5	6207.484	6232.041	6453.549	6478.362	6698.110	6720.318	162.5
163.5	6232.653	6257.717	6478.611	6503.570	6723.066	6744.918	163.5
164.5	6257.970	6283.180	6503.821	6528.924	6748.168	6769.565	164.5
165.5	6283.435	6308.791	6529.177	6554.426	6773.416	6794.258	165.5
166.5	6309.043	6334.849	6554.680	6580.074	6798.811	6818.997	166.5
167.5	6334.806	6360.454	6580.872	6605.969	6824.351	6843.782	167.5
168.5	6360.713	6386.506	6606.127	6632.811	6850.038	6868.614	168.5
169.5	6386.767	6412.706	6632.070	6659.899	6875.870	6893.500	169.5
170.5	6412.968	6439.052	6658.159	6684.133	6901.848	6918.443	170.5

53.5	5129.131	5137.441	5378.380	5386.655	5626.136	5634.376	53.5
54.5	5137.522	5145.984	5386.736	5395.165	5634.456	5642.848	54.5
55.5	5146.067	5154.602	5395.245	5403.825	5642.930	5651.474	55.5
56.5	5154.766	5163.335	5403.908	5412.641	5651.557	5660.252	56.5
57.5	5163.624	5172.183	5412.726	5421.610	5660.337	5669.184	57.5
58.5	5172.630	5181.700	5421.697	5430.724	5669.320	5678.268	58.5
59.5	5181.793	5191.020	5430.921	5440.011	5678.507	5687.507	59.5
60.5	5191.110	5200.491	5440.100	5449.441	5687.596	5696.899	60.5
61.5	5200.583	5210.116	5449.532	5459.024	5696.980	5706.443	61.5
62.5	5210.209	5219.895	5459.118	5468.766	5706.534	5716.140	62.5
63.5	5219.990	5229.828	5468.858	5478.656	5716.233	5725.990	63.5
64.5	5229.824	5239.816	5478.781	5488.701	5726.085	5735.993	64.5
65.5	5240.014	5250.158	5488.798	5498.908	5736.089	5746.148	65.5
66.5	5250.527	5260.554	5498.998	5509.252	5746.247	5756.458	66.5
67.5	5260.654	5271.103	5509.352	5519.750	5756.557	5766.919	67.5
68.5	5271.205	5281.807	5519.859	5530.417	5767.020	5777.533	68.5
69.5	5281.911	5292.665	5530.520	5541.229	5777.635	5788.300	69.5
70.5	5292.770	5303.677	5541.333	5552.195	5788.403	5799.219	70.5
71.5	5303.783	5314.842	5552.300	5563.313	5799.324	5810.291	71.5
72.5	5314.950	5326.162	5563.420	5574.585	5810.397	5821.515	72.5
73.5	5326.271	5337.635	5574.964	5586.010	5821.423	5832.892	73.5
74.5	5337.746	5349.262	5586.120	5597.588	5833.002	5844.421	74.5
75.5	5349.374	5361.042	5597.699	5609.319	5844.532	5856.103	75.5
76.5	5361.156	5372.976	5609.422	5621.206	5856.215	5867.936	76.5
77.5	5373.091	5385.063	5621.317	5633.239	5868.050	5879.922	77.5
78.5	5385.180	5397.304	5633.355	5645.429	5880.038	5892.060	78.5
79.5	5397.423	5409.698	5645.546	5657.777	5892.177	5904.351	79.5
80.5	5409.818	5422.246	5657.890	5670.266	5904.464	5916.793	80.5
81.5	5422.368	5434.947	5670.386	5682.911	5916.813	5929.381	81.5
82.5	5435.070	5447.801	5683.035	5695.713	5929.508	5942.133	82.5
83.5	5447.926	5460.880	5695.837	5708.666	5942.256	5955.031	83.5
84.5	5460.934	5473.969	5708.791	5721.771	5955.155	5968.081	84.5
85.5	5474.096	5487.282	5721.897	5735.028	5968.206	5981.282	85.5
86.5	5487.411	5500.748	5735.156	5748.430	5981.409	5994.635	86.5
87.5	5500.879	5514.368	5748.567	5762.000	5994.764	6008.140	87.5
88.5	5514.500	5528.140	5762.121	5775.714	6008.270	6021.796	88.5
89.5	5528.273	5542.065	5775.785	5789.580	6021.737	6035.603	89.5
90.5	5542.200	5556.142	5789.714	5803.598	6035.728	6049.563	90.5
91.5	5556.279	5570.372	5803.734	5817.769	6049.697	6063.673	91.5
92.5	5570.510	5584.755	5817.906	5832.001	6063.809	6077.935	92.5
93.5	5584.895	5599.290	5832.229	5846.565	6078.072	6092.347	93.5
94.5	5599.431	5613.978	5846.705	5861.391	6092.487	6106.911	94.5
95.5	5614.120	5628.818	5861.332	5876.468	6107.052	6121.626	95.5
96.5	5628.960	5643.810	5876.111	5891.697	6121.768	6136.492	96.5
97.5	5643.956	5658.955	5891.042	5907.078	6136.636	6151.509	97.5
98.5	5659.102	5674.251	5906.124	5922.210	6151.654	6166.677	98.5
99.5	5674.400	5689.700	5921.357	5937.593	6166.823	6181.995	99.5
100.5	5689.850	5705.301	5936.742	5952.128	6182.143	6197.465	100.5
101.5	5705.452	5721.053	5952.279	5967.815	6197.614	6213.084	101.5
102.5	5721.207	5736.958	5967.967	5983.652	6213.235	6228.855	102.5
103.5	5737.112	5752.814	5983.805	5999.640	6229.007	6244.776	103.5
104.5	5752.670	5768.772	5999.785	6015.780	6244.929	6260.844	104.5
105.5	5767.980	5784.832	6015.936	6032.070	6261.002	6277.068	105.5
106.5	5783.141	5801.093					

Table with 5 columns of numbers, ranging from 1.5 to 66.5 in the first column and 1.5 to 66.5 in the fifth column.

Table with 5 columns of numbers, ranging from 133.5 to 179.5 in the first column and 1.5 to 66.5 in the fifth column.

Table with 5 columns of numbers, ranging from 67.5 to 131.5 in the first column and 67.5 to 131.5 in the fifth column.

Table with 5 columns of numbers, ranging from 15.5 to 89.5 in the first column and 1.5 to 66.5 in the fifth column.



Table with 4 columns of numbers, rows 81.5 to 146.5.

Table with 4 columns of numbers, rows 29.5 to 94.5.

Table with 4 columns of numbers, rows 147.5 to 179.5.

Table with 4 columns of numbers, rows 95.5 to 160.5.

Table with 4 columns of numbers, rows 0.5 to 28.5.

Table with 4 columns of numbers, rows 95.5 to 160.5.

6

Table with 2 columns: values ranging from 161.5 to 179.5.

7

Table with 2 columns: values ranging from 4025.911 to 4241.720.

8

Table with 2 columns: values ranging from 4279.348 to 4773.310.

Table with 2 columns: values ranging from 4303.798 to 4773.310.

Table with 2 columns: values ranging from 109.5 to 179.5.

Table with 2 columns: values ranging from 3455.645 to 4862.432.

Table with 2 columns: values ranging from 3710.470 to 5111.539.

Table with 2 columns: values ranging from 3727.114 to 5137.910.

Table with 2 columns: values ranging from 3963.810 to 5399.170.

Table with 2 columns: values ranging from 3960.387 to 5399.170.

9

Table with 2 columns: values ranging from 0.5 to 42.5.

10

Table with 2 columns: values ranging from 2790.166 to 2929.319.

11

Table with 2 columns: values ranging from 3047.204 to 3195.801.

12

Table with 2 columns: values ranging from 3047.356 to 3195.801.

13

Table with 2 columns: values ranging from 3047.663 to 3195.801.

14

Table with 2 columns: values ranging from 3047.736 to 3195.801.

15

Table with 2 columns: values ranging from 3048.123 to 3195.801.

16

Table with 2 columns: values ranging from 3048.336 to 3195.801.

17

Table with 2 columns: values ranging from 3048.435 to 3195.801.

18

Table with 2 columns: values ranging from 3048.504 to 3195.801.

Table with 2 columns: values ranging from 43.5 to 107.5.

Table with 2 columns: values ranging from 2677.994 to 3455.478.

Table with 2 columns: values ranging from 2684.729 to 3455.478.

Table with 2 columns: values ranging from 2935.941 to 3455.478.

Table with 2 columns: values ranging from 2942.648 to 3455.478.

Table with 2 columns: values ranging from 3192.396 to 3455.478.

Table with 2 columns: values ranging from 3199.077 to 3455.478.

Table with 2 columns: values ranging from 3199.077 to 3455.478.

Table with 2 columns: values ranging from 3199.077 to 3455.478.

Table with 2 columns: values ranging from 3199.077 to 3455.478.

19

Table with 2 columns: values ranging from 175.5 to 179.5.

20

Table with 2 columns: values ranging from 4888.919 to 5023.239.

21

Table with 2 columns: values ranging from 4915.279 to 5023.239.

22

Table with 2 columns: values ranging from 5137.910 to 5244.866.

23

Table with 2 columns: values ranging from 5137.910 to 5244.866.

24

Table with 2 columns: values ranging from 5164.170 to 5244.866.

25

Table with 2 columns: values ranging from 5164.170 to 5244.866.

26

Table with 2 columns: values ranging from 5164.170 to 5244.866.

27

Table with 2 columns: values ranging from 5164.170 to 5244.866.

28

Table with 2 columns: values ranging from 5164.170 to 5244.866.

12

Table with 2 columns: values ranging from 0.5 to 56.5.

13

Table with 2 columns: values ranging from 3302.758 to 3552.028.

14

Table with 2 columns: values ranging from 3302.919 to 3552.028.

15

Table with 2 columns: values ranging from 3303.210 to 3552.028.

16

Table with 2 columns: values ranging from 3303.678 to 3552.028.

17

Table with 2 columns: values ranging from 3304.283 to 3552.028.

18

Table with 2 columns: values ranging from 3305.047 to 3552.028.

19

Table with 2 columns: values ranging from 3305.964 to 3552.028.

20

Table with 2 columns: values ranging from 3306.026 to 3552.028.

21

Table with 2 columns: values ranging from 3306.351 to 3552.028.

Table with 4 columns of numbers ranging from 57.5 to 122.5. Includes values like 3555.298, 3564.060, 3808.356, etc.

Table with 4 columns of numbers ranging from 5.5 to 70.5. Includes values like 4062.840, 4063.738, 4312.508, etc.

Table with 4 columns of numbers ranging from 123.5 to 179.5. Includes values like 4462.632, 4481.197, 4712.015, etc.

Table with 4 columns of numbers ranging from 71.5 to 136.5. Includes values like 4446.091, 4456.823, 4694.204, etc.

Table with 4 columns of numbers ranging from 0.5 to 4.5. Includes values like 4060.570, 4060.720, 4310.247, etc.

Table with 4 columns of numbers ranging from 137.5 to 136.5. Includes values like 5358.651, 5378.144, 5603.033, etc.

137.5	5479.948	5499.301	5722.834	5743.104	5965.276	5985.462	137.5
138.5	5499.504	5520.001	5743.306	5773.718	5985.663	5985.991	138.5
139.5	5520.203	5538.945	5743.512	5804.130	6006.193	6006.521	139.5
140.5	5541.051	5561.833	5744.661	5805.378	6026.667	6047.479	140.5
141.5	5562.041	5582.966	5805.585	5826.424	6047.684	6068.438	141.5
142.5	5583.175	5604.243	5826.632	5847.613	6068.644	6089.540	142.5
143.5	5604.454	5625.664	5847.823	5868.946	6089.748	6110.784	143.5
144.5	5625.876	5647.229	5869.157	5890.422	6110.994	6132.171	144.5
145.5	5647.443	5668.938	5890.635	5912.042	6132.382	6153.701	145.5
146.5	5669.159	5690.791	5912.252	5934.804	6153.992	6175.374	146.5
147.5	5691.008	5712.788	5934.020	5955.710	6175.508	6197.189	147.5
148.5	5713.006	5734.928	5955.927	5977.759	6197.404	6219.146	148.5
149.5	5735.148	5757.212	5977.977	5999.951	6219.363	6241.246	149.5
150.5	5757.433	5779.639	6000.170	6022.285	6241.465	6263.488	150.5
151.5	5779.862	5802.209	6022.506	6044.762	6263.708	6285.872	151.5
152.5	5802.433	5824.923	6044.985	6067.382	6286.093	6308.398	152.5
153.5	5825.149	5847.780	6067.606	6090.142	6309.621	6331.066	153.5
154.5	5848.007	5870.779	6090.370	6113.049	6331.290	6353.875	154.5
155.5	5871.008	5893.922	6113.276	6136.096	6354.101	6376.826	155.5
156.5	5894.152	5917.207	6136.324	6159.285	6377.054	6399.919	156.5
157.5	5917.439	5940.635	6159.515	6182.616	6400.148	6423.153	157.5
158.5	5940.869	5964.206	6182.847	6206.089	6423.384	6446.529	158.5
159.5	5964.441	5987.919	6206.322	6229.704	6446.761	6470.046	159.5
160.5	5988.156	6011.775	6229.938	6253.360	6470.279	6493.704	160.5
161.5	6012.012	6035.772	6253.159	6277.059	6493.938	6517.503	161.5
162.5	6036.012	6059.912	6277.596	6301.398	6517.739	6541.442	162.5
163.5	6060.153	6084.194	6301.637	6325.679	6541.680	6565.523	163.5
164.5	6084.437	6108.618	6325.820	6349.901	6565.762	6589.744	164.5
165.5	6108.862	6133.183	6350.144	6374.365	6589.985	6614.106	165.5
166.5	6133.429	6157.890	6374.609	6398.970	6614.348	6638.608	166.5
167.5	6158.137	6182.739	6399.215	6423.715	6638.951	6663.250	167.5
168.5	6182.988	6207.729	6423.962	6448.602	6663.495	6688.033	168.5
169.5	6207.979	6232.861	6448.850	6473.629	6688.280	6712.956	169.5
170.5	6233.112	6258.134	6473.878	6498.796	6713.204	6738.018	170.5
171.5	6258.387	6283.547	6499.048	6524.104	6738.268	6763.221	171.5
172.5	6283.802	6309.102	6524.357	6549.553	6763.472	6788.563	172.5
173.5	6309.358	6334.798	6549.807	6575.141	6788.816	6814.045	173.5
174.5	6335.055	6360.634	6575.397	6600.870	6814.299	6839.666	174.5
175.5	6360.893	6386.611	6601.128	6626.730	6839.922	6865.427	175.5
176.5	6386.872	6412.729	6626.998	6652.748	6865.684	6891.327	176.5
177.5	6412.991	6439.086	6653.080	6678.896	6891.586	6917.366	177.5
178.5	6439.250	6465.385	6679.158	6705.184	6917.627	6943.544	178.5
179.5	6465.650	6492.923	6705.448	6731.612	6943.806	6969.861	179.5

0.5	4805.248	4805.396	5050.586	5050.733	5294.490	5294.637	0.5
1.5	4805.398	4805.694	5050.735	5051.029	5294.639	5294.932	1.5
2.5	4805.697	4806.141	5051.033	5051.475	5294.936	5295.375	2.5
3.5	4806.146	4806.737	5051.480	5052.069	5295.380	5295.967	3.5
4.5	4806.744	4807.483	5052.075	5052.811	5295.973	5296.706	4.5
5.5	4807.491	4808.378	5052.819	5053.702	5296.714	5297.594	5.5
6.5	4808.387	4809.402	5053.712	5054.692	5297.621	5298.500	6.5
7.5	4809.432	4810.615	5054.753	5055.931	5298.640	5299.813	7.5
8.5	4810.627	4811.958	5055.943	5057.268	5299.825	5301.145	8.5
9.5	4811.971	4813.449	5057.281	5058.753	5301.158	5302.624	9.5
10.5	4813.464	4815.090	5058.768	5060.388	5302.639	5304.252	10.5
11.5	4815.107	4816.860	5060.404	5062.171	5304.268	5306.020	11.5
12.5	4816.898	4818.720	5062.188	5064.102	5306.045	5307.951	12.5
13.5	4818.833	4820.732	5064.121	5066.184	5307.970	5310.023	13.5
14.5	4820.929	4823.147	5066.203	5068.411	5310.043	5312.243	14.5
15.5	4823.169	4825.534	5068.433	5070.789	5312.264	5314.610	15.5
16.5	4825.557	4828.070	5070.812	5073.314	5314.633	5317.126	16.5
17.5	4828.095	4830.755	5073.339	5075.989	5317.150	5319.789	17.5
18.5	4830.782	4833.590	5076.015	5078.812	5319.815	5322.601	18.5

19.5	4833.618	4836.573	5078.839	5081.783	5322.628	5325.560	19.5
20.5	4836.603	4839.706	5081.812	5084.903	5325.699	5328.667	20.5
21.5	4839.737	4842.988	5084.934	5088.172	5328.697	5331.922	21.5
22.5	4843.022	4846.489	5088.159	5091.584	5331.954	5335.325	22.5
23.5	4846.453	4849.999	5091.622	5095.154	5335.358	5338.874	23.5
24.5	4850.034	4853.728	5095.189	5098.868	5338.911	5342.575	24.5
25.5	4853.765	4857.606	5098.904	5102.730	5342.611	5346.421	25.5
26.5	4857.644	4861.634	5102.768	5106.741	5346.459	5350.416	26.5
27.5	4861.673	4865.810	5106.780	5110.900	5350.454	5354.558	27.5
28.5	4865.851	4870.135	5110.941	5115.200	5354.598	5358.848	28.5
29.5	4870.177	4874.609	5115.250	5119.664	5358.889	5363.285	29.5
30.5	4874.653	4879.232	5119.707	5124.280	5363.328	5367.871	30.5
31.5	4879.277	4884.004	5124.312	5129.020	5367.915	5372.604	31.5
32.5	4884.051	4888.925	5129.066	5133.921	5372.649	5377.484	32.5
33.5	4888.973	4893.995	5133.969	5138.970	5377.532	5382.513	33.5
34.5	4894.044	4899.214	5139.019	5144.168	5382.561	5387.689	34.5
35.5	4899.264	4904.581	5144.218	5149.513	5387.739	5393.013	35.5
36.5	4904.639	4910.099	5149.555	5155.009	5393.084	5398.489	36.5
37.5	4910.151	4915.763	5155.060	5160.649	5398.537	5404.103	37.5
38.5	4915.818	4921.577	5160.704	5166.439	5404.157	5409.869	38.5
39.5	4921.633	4927.539	5166.495	5172.378	5409.925	5415.783	39.5
40.5	4927.597	4933.651	5172.435	5178.464	5415.840	5421.845	40.5
41.5	4933.710	4939.911	5178.523	5184.698	5421.903	5428.053	41.5
42.5	4939.971	4946.320	5184.759	5191.081	5428.113	5434.410	42.5
43.5	4946.382	4952.877	5191.143	5197.611	5434.471	5440.914	43.5
44.5	4952.940	4959.583	5197.675	5204.290	5440.976	5447.565	44.5
45.5	4959.648	4966.437	5204.354	5211.116	5447.629	5454.363	45.5
46.5	4966.504	4973.440	5211.182	5218.091	5454.429	5461.309	46.5
47.5	4973.508	4980.592	5218.158	5225.213	5461.376	5468.402	47.5
48.5	4980.661	4987.892	5225.282	5232.483	5468.470	5475.642	48.5
49.5	4987.962	4995.340	5232.553	5239.901	5475.712	5483.030	49.5
50.5	4995.412	5002.937	5239.913	5247.467	5483.101	5490.565	50.5
51.5	5003.011	5010.682	5247.540	5255.180	5490.637	5498.246	51.5
52.5	5010.757	5018.576	5255.255	5263.042	5498.320	5506.075	52.5
53.5	5018.652	5026.610	5263.118	5271.051	5506.151	5514.051	53.5
54.5	5026.695	5034.808	5271.128	5279.207	5514.128	5522.175	54.5
55.5	5034.897	5043.146	5279.286	5287.511	5522.253	5530.445	55.5
56.5	5043.227	5051.633	5287.592	5295.963	5530.524	5538.862	56.5
57.5	5051.715	5060.287	5296.045	5304.563	5538.943	5547.426	57.5
58.5	5060.351	5069.050	5304.645	5313.309	5547.100	5556.137	58.5
59.5	5069.135	5077.981	5313.394	5322.204	5555.220	5564.994	59.5
60.5	5078.067	5087.060	5322.289	5331.245	5563.400	5573.999	60.5
61.5	5087.148	5096.287	5331.333	5340.434	5571.666	5583.150	61.5
62.5	5096.376	5105.661	5340.523	5349.771	5580.128	5592.448	62.5
63.5	5105.752	5115.184	5349.861	5359.255	5588.798	5601.893	63.5
64.5	5115.276	5124.855	5359.085	5368.986	5597.664	5611.484	64.5
65.5	5124.942	5134.685	5368.368	5378.964	5606.727	5621.222	65.5
66.5	5134.768	5144.639	5378.758	5389.588	5616.136	5631.107	66.5
67.5	5144.736	5154.753	5389.085	5399.961	5625.780	5641.138	67.5
68.5	5154.851	5165.015	5399.759	5408.881	5634.235	5651.315	68.5
69.5	5165.114	5175.424	5408.980	5419.247	5642.413	5661.639	69.5
70.5	5175.525	5185.981	5419.347	5429.761	5651.739	5672.110	70.5
71.5	5186.083	5196.685	5429.862	5440.421	5661.210	5682.736	71.5
72.5	5196.792	5207.537	5439.677	5451.226	5670.832	5693.517	72.5
73.5	5207.642	5218.536	5451.333	5462.183	5680.593	5704.450	73.5
74.5	5218.643	5229.683					

Table with 5 columns of numerical data, rows 33-98.

Table with 5 columns of numerical data, rows 165-195.

Table with 5 columns of numerical data, rows 0.5-46.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 99-164.

Table with 5 columns of numerical data, rows 47.5-112.5.

Table with 2 columns of numbers, ranging from 113.5 to 178.5. Includes a small table at the bottom with columns labeled 'j' and '4'.

Table with 2 columns of numbers, ranging from 61.5 to 126.5.

Table with 2 columns of numbers, ranging from 179.5 to 60.5. Includes a small table at the bottom with columns labeled 'j' and '4'.

Table with 2 columns of numbers, ranging from 127.5 to 179.5. Includes a small table at the bottom with columns labeled 'j' and '4'.

Table with 5 columns of numerical data, rows 9-74.

Table with 5 columns of numerical data, rows 141-179.

Table with 5 columns of numerical data, rows 0-22.

Table with 5 columns of numerical data, rows 75-140.

Table with 5 columns of numerical data, rows 23-88.

89.5	12042.211	11553.012	12042.211	11553.012	112289.163	11798.730	89.5
90.5	12056.453	11567.216	12056.453	11567.216	12303.343	11812.071	90.5
91.5	12070.849	11581.576	12070.849	11581.576	12597.578	11927.167	91.5
92.5	12085.401	11596.087	12085.401	11596.087	12932.165	11841.616	92.5
93.5	12100.108	11610.754	12100.108	11610.754	13266.807	11856.219	93.5
94.5	12114.970	11625.572	12114.970	11625.572	13611.604	11870.976	94.5
95.5	12129.987	11640.553	12129.987	11640.553	13966.555	11885.887	95.5
96.5	12145.159	11655.684	12145.159	11655.684	14331.661	11900.952	96.5
97.5	12160.485	11670.976	12160.485	11670.976	14706.920	11916.171	97.5
98.5	12175.968	11686.407	12175.968	11686.407	15092.333	11931.543	98.5
99.5	12191.602	11702.003	12191.602	11702.003	15487.907	11947.068	99.5
100.5	12207.392	11717.751	12207.392	11717.751	15893.623	11962.747	100.5
101.5	12223.337	11733.653	12223.337	11733.653	16309.498	11978.580	101.5
102.5	12239.436	11749.709	12239.436	11749.709	16735.527	11994.565	102.5
103.5	12255.690	11765.919	12255.690	11765.919	17171.709	12010.704	103.5
104.5	12272.098	11782.283	12272.098	11782.283	17618.959	12027.096	104.5
105.5	12288.660	11798.800	12288.660	11798.800	18077.285	12043.641	105.5
106.5	12305.376	11815.471	12305.376	11815.471	18546.697	12060.439	106.5
107.5	12322.246	11832.296	12322.246	11832.296	19027.274	12077.390	107.5
108.5	12339.270	11849.274	12339.270	11849.274	19519.093	12094.504	108.5
109.5	12356.448	11866.406	12356.448	11866.406	20022.026	12111.750	109.5
110.5	12373.780	11883.691	12373.780	11883.691	20536.129	12129.155	110.5
111.5	12391.265	11901.129	12391.265	11901.129	21061.459	12146.711	111.5
112.5	12408.904	11918.726	12408.904	11918.726	21598.069	12164.418	112.5
113.5	12426.696	11936.465	12426.696	11936.465	22146.016	12182.274	113.5
114.5	12444.642	11954.352	12444.642	11954.352	22705.353	12200.279	114.5
115.5	12462.742	11972.412	12462.742	11972.412	23277.033	12218.421	115.5
116.5	12480.994	11990.615	12480.994	11990.615	23861.006	12236.709	116.5
117.5	12499.400	12008.971	12499.400	12008.971	24457.327	12255.242	117.5
118.5	12517.958	12027.479	12517.958	12027.479	25066.047	12273.919	118.5
119.5	12536.670	12046.140	12536.670	12046.140	25687.220	12292.732	119.5
120.5	12555.534	12064.953	12555.534	12064.953	26320.898	12311.682	120.5
121.5	12574.551	12083.919	12574.551	12083.919	26967.017	12330.765	121.5
122.5	12593.721	12103.037	12593.721	12103.037	27625.627	12350.082	122.5
123.5	12613.044	12122.307	12613.044	12122.307	28296.771	12369.635	123.5
124.5	12632.519	12141.729	12632.519	12141.729	28980.498	12389.424	124.5
125.5	12652.146	12161.302	12652.146	12161.302	29676.854	12409.447	125.5
126.5	12671.926	12181.028	12671.926	12181.028	30385.891	12429.698	126.5
127.5	12691.858	12200.906	12691.858	12200.906	31107.559	12450.171	127.5
128.5	12711.942	12220.935	12711.942	12220.935	31841.898	12470.866	128.5
129.5	12732.178	12241.116	12732.178	12241.116	32588.972	12491.782	129.5
130.5	12752.566	12261.448	12752.566	12261.448	33348.835	12512.917	130.5
131.5	12773.106	12281.932	12773.106	12281.932	34121.532	12534.271	131.5
132.5	12793.797	12302.567	12793.797	12302.567	34907.111	12555.844	132.5
133.5	12814.640	12323.353	12814.640	12323.353	35705.629	12577.635	133.5
134.5	12835.635	12344.290	12835.635	12344.290	36517.138	12599.646	134.5
135.5	12856.786	12365.376	12856.786	12365.376	37341.693	12621.877	135.5
136.5	12878.078	12386.617	12878.078	12386.617	38179.248	12644.327	136.5
137.5	12899.526	12408.006	12899.526	12408.006	39029.851	12666.994	137.5
138.5	12921.126	12429.544	12921.126	12429.544	39893.559	12689.877	138.5
139.5	12942.876	12451.237	12942.876	12451.237	40770.324	12712.978	139.5
140.5	12964.778	12473.078	12964.778	12473.078	41660.197	12736.293	140.5
141.5	12986.830	12495.070	12986.830	12495.070	42564.229	12759.824	141.5
142.5	13009.032	12517.211	13009.032	12517.211	43482.472	12783.571	142.5
143.5	13031.386	12539.503	13031.386	12539.503	44414.973	12807.534	143.5
144.5	13053.890	12561.945	13053.890	12561.945	45361.677	12831.717	144.5
145.5	13076.544	12584.536	13076.544	12584.536	46322.532	12856.118	145.5
146.5	13099.348	12607.278	13099.348	12607.278	47297.594	12880.735	146.5
147.5	13122.303	12630.169	13122.303	12630.169	48286.911	12905.568	147.5
148.5	13145.407	12653.209	13145.407	12653.209	49290.536	12930.618	148.5
149.5	13168.661	12676.401	13168.661	12676.401	50308.417	12955.884	149.5
150.5	13192.065	12699.738	13192.065	12699.738	51340.501	12981.365	150.5
151.5	13215.619	12723.227	13215.619	12723.227	52386.845	13007.061	151.5
152.5	13239.322	12746.864	13239.322	12746.864	53447.500	13032.972	152.5
153.5	13263.175	12770.650	13263.175	12770.650	54522.517	13059.098	153.5
154.5	13287.177	12794.586	13287.177	12794.586	55611.946	13085.438	154.5

155.5	13311.328	12818.670	13311.328	12818.670	56725.736	13111.989	155.5
156.5	13335.628	12842.902	13335.628	12842.902	57855.136	13138.231	156.5
157.5	13360.077	12867.283	13360.077	12867.283	59000.127	13164.624	157.5
158.5	13384.685	12891.815	13384.685	12891.815	60160.762	13191.169	158.5
159.5	13409.412	12916.498	13409.412	12916.498	61337.084	13217.868	159.5
160.5	13434.251	12941.336	13434.251	12941.336	62529.147	13244.721	160.5
161.5	13459.300	12966.289	13459.300	12966.289	63736.997	13271.728	161.5
162.5	13484.551	12991.410	13484.551	12991.410	64960.689	13298.889	162.5
163.5	13509.991	13016.679	13509.991	13016.679	66200.169	13326.214	163.5
164.5	13535.630	13042.096	13535.630	13042.096	67455.393	13353.703	164.5
165.5	13561.468	13067.661	13561.468	13067.661	68726.410	13381.356	165.5
166.5	13587.506	13093.371	13587.506	13093.371	69993.169	13409.174	166.5
167.5	13613.749	13119.230	13613.749	13119.230	71275.612	13437.156	167.5
168.5	13639.197	13145.236	13639.197	13145.236	72573.797	13465.293	168.5
169.5	13664.850	13171.389	13664.850	13171.389	73887.668	13493.585	169.5
170.5	13690.707	13197.688	13690.707	13197.688	75218.272	13522.034	170.5
171.5	13716.760	13224.134	13716.760	13224.134	76564.663	13550.641	171.5
172.5	13743.009	13250.734	13743.009	13250.734	77926.888	13579.406	172.5
173.5	13769.454	13277.486	13769.454	13277.486	79304.997	13608.329	173.5
174.5	13796.107	13304.392	13796.107	13304.392	80699.040	13637.410	174.5
175.5	13822.960	13331.454	13822.960	13331.454	82109.077	13666.649	175.5
176.5	13850.013	13358.673	13850.013	13358.673	83535.161	13696.047	176.5
177.5	13877.266	13385.949	13877.266	13385.949	84977.345	13725.594	177.5
178.5	13904.719	13413.381	13904.719	13413.381	86435.673	13755.291	178.5
179.5	13932.372	13440.968	13932.372	13440.968	87900.199	13785.138	179.5

0.5	11164.040	0.000	11164.040	0.000	11164.040	0.000	0.5
1.5	11652.786	11164.040	11652.786	11164.040	11652.786	11164.040	1.5
2.5	12142.132	11164.040	12142.132	11164.040	12142.132	11164.040	2.5
3.5	12632.132	11164.984	12632.132	11164.984	12632.132	11164.984	3.5
4.5	13122.828	11165.692	13122.828	11165.692	13122.828	11165.692	4.5
5.5	13614.228	11166.257	13614.228	11166.257	13614.228	11166.257	5.5
6.5	14106.332	11166.779	14106.332	11166.779	14106.332	11166.779	6.5
7.5	14599.140	11167.257	14599.140	11167.257	14599.140	11167.257	7.5
8.5	15092.652	11167.692	15092.652	11167.692	15092.652	11167.692	8.5
9.5	15586.868	11168.084	15586.868	11168.084	15586.868	11168.084	9.5
10.5	16081.688	11168.432	16081.688	11168.432	16081.688	11168.432	10.5
11.5	16577.112	11168.736	16577.112	11168.736	16577.112	11168.736	11.5
12.5	17073.140	11169.000	17073.140	11169.000	17073.140	11169.000	12.5
13.5	17569.772	11169.224	17569.772	11169.224	17569.772	11169.224	13.5
14.5	18067.008	11169.408	18067.008	11169.408	18067.008	11169.408	14.5
15.5	18564.848	11169.552	18564.848	11169.552	18564.848	11169.552	15.5
16.5	19063.292	11169.656	19063.292	11169.656	19063.292	11169.656	16.5
17.5	19562.340	11169.720	19562.340	11169.720	19562.340	11169.720	17.5
18.5	20061.992	11169.752	20061.992	11169.752	20061.992	11169.752	18.5
19.5	20562.248	11169.752	20562.248	11169.752	20562.248	11169.752	19.5
20.5	21063.108	11169.720	21063.108	11169.720	21063.108	11169.720	20.5
21.5	21564.572	11169.656	21564.572	11169.656	21564.572	111	



Table with 5 columns and 16 rows. Headers: 7, 8. Rows: 169.5 13904.830 13409.946 14143.068 13646.962 14143.068 13646.954 169.5 ...

Table with 5 columns and 16 rows. Headers: 8, 9. Rows: 117.5 13229.569 12735.432 13229.569 12735.430 13469.854 12974.475 117.5 ...

Table with 5 columns and 34 rows. Headers: 9, 10. Rows: 0.5 11656.314 0.000 11656.314 0.000 11900.110 0.000 0.5 ...

Table with 5 columns and 34 rows. Headers: 10, 11. Rows: 0.5 11900.110 0.000 12142.356 0.000 12142.356 0.000 0.5 ...

Table with 5 columns and 34 rows. Headers: 11, 12. Rows: 51.5 12358.393 11866.606 12358.393 11866.605 12602.513 12109.480 51.5 ...

Table with 5 columns and 34 rows. Headers: 12, 13. Rows: 0.5 11900.110 0.000 12142.356 0.000 12142.356 0.000 0.5 ...

65.5	12730.727	12237.351	12972.738	12478.115	12972.738	12478.114	65.5
66.5	12741.042	12247.638	12983.008	12488.356	12983.008	12488.356	66.5
67.5	12751.510	12258.078	12993.430	12498.751	12993.430	12498.750	67.5
68.5	12762.139	12268.570	13003.900	12509.298	13003.900	12509.298	68.5
69.5	12772.909	12279.110	13014.735	12519.998	13014.735	12519.998	69.5
70.5	12783.839	12290.320	13025.617	12530.851	13025.617	12530.850	70.5
71.5	12794.923	12301.375	13036.652	12541.856	13036.652	12541.856	71.5
72.5	12806.160	12312.582	13047.840	12553.014	13047.840	12553.014	72.5
73.5	12817.552	12323.942	13059.181	12564.324	13059.181	12564.324	73.5
74.5	12829.096	12335.456	13070.675	12575.790	13070.675	12575.790	74.5
75.5	12840.800	12347.126	13082.123	12587.402	13082.123	12587.402	75.5
76.5	12852.646	12358.942	13094.121	12599.100	13094.121	12599.100	76.5
77.5	12864.651	12370.915	13106.073	12611.090	13106.073	12611.090	77.5
78.5	12876.809	12383.041	13118.178	12623.162	13118.178	12623.162	78.5
79.5	12889.121	12395.319	13130.435	12635.386	13130.435	12635.386	79.5
80.5	12901.586	12407.750	13142.845	12647.763	13142.845	12647.762	80.5
81.5	12914.204	12420.334	13155.407	12660.291	13155.407	12660.291	81.5
82.5	12926.975	12433.071	13168.122	12672.972	13168.122	12672.972	82.5
83.5	12939.899	12445.960	13180.989	12685.804	13180.989	12685.803	83.5
84.5	12952.976	12459.002	13194.008	12698.787	13194.008	12698.787	84.5
85.5	12966.206	12472.196	13207.180	12711.924	13207.180	12711.923	85.5
86.5	12979.588	12485.542	13220.503	12725.211	13220.503	12725.211	86.5
87.5	12993.124	12499.041	13233.979	12738.651	13233.979	12738.650	87.5
88.5	13006.812	12512.692	13247.607	12752.244	13247.607	12752.244	88.5
89.5	13020.653	12526.496	13261.387	12765.988	13261.387	12765.988	89.5
90.5	13034.643	12540.454	13275.318	12779.879	13275.318	12779.879	90.5
91.5	13048.792	12554.559	13289.403	12793.922	13289.403	12793.922	91.5
92.5	13063.090	12568.818	13303.636	12808.118	13303.636	12808.118	92.5
93.5	13077.540	12583.229	13318.023	12822.467	13318.023	12822.465	93.5
94.5	13092.143	12597.793	13332.561	12836.966	13332.561	12836.964	94.5
95.5	13106.898	12612.507	13347.251	12851.614	13347.251	12851.614	95.5
96.5	13121.805	12627.374	13362.092	12866.415	13362.092	12866.415	96.5
97.5	13136.864	12642.392	13377.085	12881.366	13377.085	12881.366	97.5
98.5	13152.075	12657.562	13392.229	12896.469	13392.229	12896.469	98.5
99.5	13167.438	12672.883	13407.524	12911.722	13407.524	12911.722	99.5
100.5	13182.953	12688.356	13422.970	12927.128	13422.970	12927.128	100.5
101.5	13198.620	12703.980	13438.567	12942.683	13438.567	12942.681	101.5
102.5	13214.438	12719.755	13454.315	12958.386	13454.315	12958.386	102.5
103.5	13230.408	12735.681	13470.214	12974.244	13470.214	12974.244	103.5
104.5	13246.529	12751.759	13486.264	12990.264	13486.264	12990.264	104.5
105.5	13262.802	12767.987	13502.465	13006.444	13502.465	13006.444	105.5
106.5	13279.226	12784.366	13518.816	13022.713	13518.816	13022.711	106.5
107.5	13295.801	12800.896	13535.318	13039.169	13535.318	13039.167	107.5
108.5	13312.527	12817.577	13551.970	13055.774	13551.970	13055.774	108.5
109.5	13329.405	12834.408	13568.773	13072.533	13568.773	13072.531	109.5
110.5	13346.433	12851.390	13585.726	13089.439	13585.726	13089.437	110.5
111.5	13363.613	12868.523	13602.829	13106.494	13602.829	13106.494	111.5
112.5	13380.943	12885.805	13620.083	13123.702	13620.083	13123.700	112.5
113.5	13398.424	12903.239	13637.486	13141.058	13637.486	13141.055	113.5
114.5	13416.056	12920.822	13655.004	13158.563	13655.004	13158.560	114.5
115.5	13433.838	12938.555	13672.743	13176.218	13672.743	13176.215	115.5
116.5	13451.771	12956.439	13690.596	13194.022	13690.596	13194.019	116.5
117.5	13469.854	12974.472	13708.599	13211.975	13708.599	13211.972	117.5
118.5	13488.087	12992.656	13726.751	13230.077	13726.751	13230.075	118.5
119.5	13506.463	13010.985	13745.084	13248.326	13745.084	13248.324	119.5
120.5	13525.004	13029.471	13763.504	13266.730	13763.504	13266.727	120.5
121.5	13543.688	13048.104	13782.105	13285.279	13782.105	13285.276	121.5
122.5	13562.522	13066.886	13800.855	13303.977	13800.855	13303.974	122.5
123.5	13581.505	13085.817	13819.754	13322.821	13819.754	13322.821	123.5
124.5	13600.638	13104.897	13838.802	13341.820	13838.802	13341.816	124.5
125.5	13619.921	13124.127	13857.999	13360.964	13857.999	13360.960	125.5
126.5	13639.354	13143.506	13877.345	13380.263	13877.345	13380.259	126.5
127.5	13658.936	13163.033	13896.840	13399.697	13896.840	13399.693	127.5
128.5	13678.667	13182.710	13916.483	13419.286	13916.483	13419.282	128.5
129.5	13698.547	13202.536	13936.275	13439.023	13936.275	13439.019	129.5
130.5	13718.577	13222.510	13956.215	13458.900	13956.215	13458.900	130.5

13.5	12892.848	12397.833	12892.848	12397.833	13133.207	12636.936	13.5
14.5	12895.086	12400.064	12895.086	12400.064	13135.434	12639.158	14.5
15.5	12897.477	12402.449	12897.477	12402.449	13137.615	12641.532	15.5
16.5	12900.023	12404.988	12900.023	12404.988	13139.750	12644.060	16.5
17.5	12902.722	12407.681	12902.722	12407.681	13141.038	12646.740	17.5
18.5	12905.576	12410.527	12905.576	12410.527	13142.879	12649.574	18.5
19.5	12908.585	12413.527	12908.585	12413.527	13145.874	12652.561	19.5
20.5	12911.747	12416.681	12911.747	12416.681	13152.022	12655.701	20.5
21.5	12915.063	12419.989	12915.063	12419.989	13155.324	12658.994	21.5
22.5	12918.537	12423.452	12918.537	12423.452	13158.780	12662.440	22.5
23.5	12922.159	12427.065	12922.159	12427.065	13162.388	12666.039	23.5
24.5	12925.938	12430.834	12925.938	12430.834	13166.150	12669.791	24.5
25.5	12929.871	12434.756	12929.871	12434.756	13170.066	12673.697	25.5
26.5	12933.957	12438.832	12933.957	12438.832	13174.135	12677.755	26.5
27.5	12938.199	12443.062	12938.199	12443.062	13178.357	12681.966	27.5
28.5	12942.593	12447.445	12942.593	12447.445	13182.733	12686.329	28.5
29.5	12947.147	12451.982	12947.147	12451.982	13187.262	12690.840	29.5
30.5	12951.845	12456.672	12951.845	12456.672	13191.944	12695.516	30.5
31.5	12956.702	12461.516	12956.702	12461.516	13196.780	12700.338	31.5
32.5	12961.713	12466.514	12961.713	12466.514	13201.768	12705.314	32.5
33.5	12966.878	12471.664	12966.878	12471.664	13206.910	12710.442	33.5
34.5	12972.196	12476.969	12972.196	12476.969	13212.205	12715.723	34.5
35.5	12977.669	12482.427	12977.669	12482.427	13217.654	12721.157	35.5
36.5	12983.295	12488.039	12983.295	12488.039	13223.255	12726.743	36.5
37.5	12989.079	12493.812	12989.079	12493.812	13229.017	12732.482	37.5
38.5	12995.009	12499.720	12995.009	12499.720	13234.911	12738.378	38.5
39.5	13001.096	12505.791	13001.096	12505.791	13240.978	12744.418	39.5
40.5	13007.337	12512.016	13007.337	12512.016	13247.191	12750.615	40.5
41.5	13013.732	12518.394	13013.732	12518.393	13253.558	12756.965	41.5
42.5	13020.281	12524.924	13020.281	12524.924	13260.078	12763.467	42.5
43.5	13026.983	12531.609	13026.983	12531.608	13266.750	12770.121	43.5
44.5	13033.838	12538.446	13033.838	12538.446	13273.576	12777.928	44.5
45.5	13040.848	12545.436	13040.848	12545.436	13280.554	12785.888	45.5
46.5	13048.010	12552.580	13048.010	12552.580	13287.685	12793.900	46.5
47.5	13055.326	12559.876	13055.326	12559.876	13294.969	12802.064	47.5
48.5	13062.796	12567.326	13062.796	12567.326	13302.405	12810.381	48.5
49.5	13070.419	12574.928	13070.419	12574.928	13309.995	12818.849	49.5
50.5	13078.195	12582.684	13078.195	12582.683	13317.737	12827.467	50.5
51.5	13086.125	12590.598	13086.125	12590.598	13325.631	12836.244	51.5
52.5	13094.208	12598.653	13094.208	12598.653	13333.678	12845.180	52.5
53.5	13102.444	12606.867	13102.444	12606.867	13341.878	12854.273	53.5
54.5	13110.833	12615.234	13110.833	12615.234	13350.230	12863.537	54.5
55.5	13119.375	12623.753	13119.375	12623.753	13358.735	12872.968	55.5
56.5	13128.071	12632.425	13128.071	12632.425	13367.392	12882.562	56.5
57.5	13136.920	12641.250	13136.920	12641.250	13376.207	12892.318	57.5
58.5	13145.921	12650.228	13145.921	12650.227	13385.183	12902.237	58.5
59.5	13155.074	12659.356	13155.074	12659.356	13394.316	12912.320	59.5
60.5	13164.383	12668.640	13164.383	12668.640	13403.544	1	

Table with 5 columns of numerical data, rows 145-179.

Table with 5 columns of numerical data, rows 93-127.

Table with 5 columns of numerical data, rows 0.5-26.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 128-158.

Table with 5 columns of numerical data, rows 27.5-92.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 159.5-179.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 0.5-39.5.

15

Table with 3 columns of numerical data, rows 1-100. Values range from approximately 41.5 to 106.5.

16

Table with 3 columns of numerical data, rows 1-100. Values range from approximately 173.5 to 54.5.

Table with 3 columns of numerical data, rows 101-200. Values range from approximately 107.5 to 172.5.

Table with 3 columns of numerical data, rows 101-200. Values range from approximately 55.5 to 120.5.

121.5	14951.371	14448.272	15180.712	14676.352	15180.712	14676.349	121.5
122.5	14969.705	14466.554	15198.962	14694.551	15198.962	14694.548	122.5
123.5	14988.000	14484.991	15217.350	14712.095	15217.350	14712.092	123.5
124.5	15006.800	14503.554	15235.898	14731.083	15235.898	14731.080	124.5
125.5	15025.579	14522.271	15254.593	14750.316	15254.593	14750.313	125.5
126.5	15044.428	14541.041	15273.418	14769.799	15273.418	14769.796	126.5
127.5	15063.555	14560.141	15292.388	14787.714	15292.388	14787.711	127.5
128.5	15082.761	14579.293	15311.507	14806.780	15311.507	14806.776	128.5
129.5	15102.113	14598.590	15330.771	14825.997	15330.771	14825.995	129.5
130.5	15121.609	14618.031	15350.179	14845.342	15350.179	14845.338	130.5
131.5	15141.250	14637.617	15369.731	14864.839	15369.731	14864.835	131.5
132.5	15161.037	14657.348	15389.427	14884.480	15389.427	14884.476	132.5
133.5	15180.967	14677.225	15409.268	14904.264	15409.268	14904.260	133.5
134.5	15201.043	14697.241	15429.252	14924.192	15429.252	14924.189	134.5
135.5	15221.263	14717.404	15449.380	14944.263	15449.380	14944.259	135.5
136.5	15241.627	14737.711	15469.652	14964.479	15469.652	14964.474	136.5
137.5	15262.136	14758.161	15490.068	14984.836	15490.068	14984.831	137.5
138.5	15282.789	14778.756	15510.627	15005.330	15510.627	15005.327	138.5
139.5	15303.586	14799.494	15531.330	15025.980	15531.330	15025.976	139.5
140.5	15324.527	14820.375	15552.176	15046.767	15552.176	15046.762	140.5
141.5	15345.612	14841.400	15573.165	15067.696	15573.165	15067.691	141.5
142.5	15366.841	14862.569	15594.297	15088.768	15594.297	15088.763	142.5
143.5	15388.213	14883.890	15615.572	15109.992	15615.572	15109.987	143.5
144.5	15409.729	14905.335	15636.990	15131.369	15636.990	15131.364	144.5
145.5	15431.388	14926.933	15658.550	15152.839	15658.550	15152.834	145.5
146.5	15453.191	14948.673	15680.254	15174.480	15680.254	15174.475	146.5
147.5	15475.137	14970.556	15702.100	15196.263	15702.100	15196.258	147.5
148.5	15497.228	14992.582	15724.081	15218.189	15724.081	15218.184	148.5
149.5	15519.457	15014.750	15746.219	15240.256	15746.219	15240.251	149.5
150.5	15541.832	15037.061	15768.491	15262.465	15768.491	15262.460	150.5
151.5	15564.360	15059.514	15790.906	15284.816	15790.906	15284.810	151.5
152.5	15587.010	15082.110	15813.463	15307.308	15813.463	15307.302	152.5
153.5	15609.812	15104.847	15836.161	15329.941	15836.161	15329.935	153.5
154.5	15632.757	15127.726	15859.002	15352.716	15859.002	15352.710	154.5
155.5	15655.845	15150.747	15881.983	15375.632	15881.983	15375.626	155.5
156.5	15679.071	15173.905	15905.107	15398.688	15905.107	15398.682	156.5
157.5	15702.446	15197.214	15928.371	15421.888	15928.371	15421.882	157.5
158.5	15725.959	15220.660	15951.777	15445.225	15951.777	15445.218	158.5
159.5	15749.614	15244.247	15975.324	15468.704	15975.324	15468.697	159.5
160.5	15773.411	15267.975	15999.012	15492.323	15999.012	15492.316	160.5
161.5	15797.349	15291.844	16022.841	15516.083	16022.841	15516.076	161.5
162.5	15821.429	15315.855	16046.810	15539.983	16046.810	15539.976	162.5
163.5	15845.659	15340.000	16070.920	15564.010	16070.920	15564.003	163.5
164.5	15870.012	15364.297	16095.167	15588.171	16095.167	15588.164	164.5
165.5	15894.515	15388.730	16119.562	15612.524	16119.562	15612.517	165.5
166.5	15919.159	15413.302	16144.093	15636.984	16144.093	15636.977	166.5
167.5	15943.944	15438.015	16168.764	15661.566	16168.764	15661.559	167.5
168.5	15968.870	15462.668	16193.575	15686.221	16193.575	15686.215	168.5
169.5	15993.935	15487.362	16218.526	15711.201	16218.526	15711.193	169.5
170.5	16019.142	15512.095	16243.617	15736.219	16243.617	15736.211	170.5
171.5	16044.471	15536.845	16268.847	15761.286	16268.847	15761.278	171.5
172.5	16069.927	15561.600	16294.217	15786.617	16294.217	15786.609	172.5
173.5	16095.502	15586.364	16319.726	15812.097	16319.726	15812.090	173.5
174.5	16121.284	15611.142	16345.374	15837.639	16345.374	15837.631	174.5
175.5	16147.270	15635.931	16371.161	15863.231	16371.161	15863.224	175.5
176.5	16173.324	15660.724	16397.087	15888.941	16397.087	15888.934	176.5
177.5	16199.505	15685.524	16423.151	15914.761	16423.151	15914.754	177.5
178.5	16225.819	15710.333	16449.355	15940.691	16449.355	15940.684	178.5
179.5	16252.294	15735.166	16475.296	15966.720	16475.296	15966.713	179.5

59.5	14664.900	14161.344	14664.900	14161.344	14664.900	14161.344	59.5
70.5	14675.448	14171.863	14675.448	14171.863	14675.448	14171.863	70.5
71.5	14686.144	14182.529	14686.144	14182.529	14686.144	14182.529	71.5
72.5	14696.988	14193.343	14696.988	14193.343	14696.988	14193.343	72.5
73.5	14707.980	14204.305	14707.980	14204.305	14707.980	14204.305	73.5
74.5	14719.120	14215.415	14719.120	14215.415	14719.120	14215.415	74.5
75.5	14730.408	14226.677	14730.408	14226.677	14730.408	14226.677	75.5
76.5	14741.845	14238.077	14741.845	14238.077	14741.845	14238.077	76.5
77.5	14753.430	14249.610	14753.430	14249.610	14753.430	14249.610	77.5
78.5	14765.162	14261.329	14765.162	14261.329	14765.162	14261.329	78.5
79.5	14777.042	14273.247	14777.042	14273.247	14777.042	14273.247	79.5
80.5	14789.070	14285.371	14789.070	14285.371	14789.070	14285.371	80.5
81.5	14801.245	14297.613	14801.245	14297.613	14801.245	14297.613	81.5
82.5	14813.568	14309.978	14813.568	14309.978	14813.568	14309.978	82.5
83.5	14826.039	14322.463	14826.039	14322.463	14826.039	14322.463	83.5
84.5	14838.657	14335.067	14838.657	14335.067	14838.657	14335.067	84.5
85.5	14851.423	14347.792	14851.423	14347.792	14851.423	14347.792	85.5
86.5	14864.336	14360.638	14864.336	14360.638	14864.336	14360.638	86.5
87.5	14877.396	14373.603	14877.396	14373.603	14877.396	14373.603	87.5
88.5	14890.604	14386.687	14890.604	14386.687	14890.604	14386.687	88.5
89.5	14903.959	14399.890	14903.959	14399.890	14903.959	14399.890	89.5
90.5	14917.461	14413.207	14917.461	14413.207	14917.461	14413.207	90.5
91.5	14931.110	14426.641	14931.110	14426.641	14931.110	14426.641	91.5
92.5	14944.905	14440.194	14944.905	14440.194	14944.905	14440.194	92.5
93.5	14958.848	14453.867	14958.848	14453.867	14958.848	14453.867	93.5
94.5	14972.938	14467.660	14972.938	14467.660	14972.938	14467.660	94.5
95.5	14987.174	14481.573	14987.174	14481.573	14987.174	14481.573	95.5
96.5	15001.557	14495.606	15001.557	14495.606	15001.557	14495.606	96.5
97.5	15016.087	14509.759	15016.087	14509.759	15016.087	14509.759	97.5
98.5	15030.764	14524.032	15030.764	14524.032	15030.764	14524.032	98.5
99.5	15045.585	14538.425	15045.585	14538.425	15045.585	14538.425	99.5
100.5	15060.554	14552.938	15060.554	14552.938	15060.554	14552.938	100.5
101.5	15075.669	14567.571	15075.669	14567.571	15075.669	14567.571	101.5
102.5	15090.930	14582.324	15090.930	14582.324	15090.930	14582.324	102.5
103.5	15106.338	14597.197	15106.338	14597.197	15106.338	14597.197	103.5
104.5	15121.891	14612.190	15121.891	14612.190	15121.891	14612.190	104.5
105.5	15137.591	14627.303	15137.591	14627.303	15137.591	14627.303	105.5
106.5	15153.436	14642.536	15153.436	14642.536	15153.436	14642.536	106.5
107.5	15169.424	14657.889	15169.424	14657.889	15169.424	14657.889	107.5
108.5	15185.564	14673.362	15185.564	14673.362	15185.564	14673.362	108.5
109.5	15201.847	14688.955	15201.847	14688.955	15201.847	14688.955	109.5
110.5	15218.275	14704.668	15218.275	14704.668	15218.275	14704.668	110.5
111.5	15234.848	14720.501	15234.848	14720.501	15234.848	14720.501	111.5
112.5	15251.567	14736.454	15251.567	14736.454	15251.567	14736.454	112.5
113.5	15268.432	14752.527	15268.432	14752.527	15268.432	14752.527	113.5
114.5	15285.444	14768.720	15285.444	14768.720	15285.444	14768.720	114.5
115.5	15302.595	14785.033	15302.595	14785.033	15302.595	14785.033	115.5
116.5	15319.895	14801.466	15319.895	14801.466	15319.895	14801.466	116.5
117.5	15337.339	14818.029	15337.339	14818.029	15337.339	14818.029	117.5
118.5	15354.928	14834.722	15354.928	14834.722	15354.928	14834.722	118.5
119.5	15372.662	14851.545	15372.662	14851.545	15372.662	14851.545	119.5
120.5	15390.541	14868.498	15390.541	14868.498	15390.541	14868.498	120.5
121.5	15408.564	14885.581	15408.564	14885.581	15408.564	14885.581	121.5
122.5	15426.732	14902.794	15426.732	14902.794	15426.732	14902.7	

Table with 3 columns: numerical values, numerical values, numerical values. Rows 17.5 to 82.5.

Table with 3 columns: numerical values, numerical values, numerical values. Rows 149.5 to 179.5.

Table with 3 columns: numerical values, numerical values, numerical values. Rows 0 to 30.5. Header: A^2Δ isotope.

Table with 3 columns: numerical values, numerical values, numerical values. Rows 83.5 to 148.5.

Table with 3 columns: numerical values, numerical values, numerical values. Rows 31.5 to 96.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 97.5 to 162.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 45.5 to 110.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 0.5 to 44.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 111.5 to 176.5.

1		2		3		4	
177.5	12546.469	12058.662	12788.355	12299.372	12788.355	12299.363	177.5
178.5	12573.455	12085.573	12815.225	12326.167	12815.225	12326.158	178.5
179.5	12600.585	12112.627	12842.238	12353.105	12842.238	12353.095	179.5
0.5	10141.158	0.000	10141.158	0.000	10389.044	0.000	0.5
1.5	10624.893	10141.158	10624.893	10141.158	10873.980	10389.044	1.5
2.5	10625.277	10141.541	10625.277	10141.541	10874.363	10389.425	2.5
3.5	10625.815	10142.077	10625.815	10142.077	10874.898	10389.959	3.5
4.5	10626.504	10142.767	10626.504	10142.767	10875.586	10390.644	4.5
5.5	10627.351	10143.609	10627.351	10143.609	10876.428	10391.485	5.5
6.5	10628.350	10144.605	10628.350	10144.605	10877.422	10392.477	6.5
7.5	10629.502	10145.754	10629.502	10145.754	10878.569	10393.621	7.5
8.5	10630.807	10147.057	10630.807	10147.057	10879.869	10394.918	8.5
9.5	10632.267	10148.512	10632.267	10148.512	10881.322	10396.367	9.5
10.5	10633.879	10150.121	10633.879	10150.121	10882.928	10397.969	10.5
11.5	10635.646	10151.892	10635.646	10151.892	10884.687	10399.723	11.5
12.5	10637.566	10153.797	10637.566	10153.797	10886.599	10401.630	12.5
13.5	10639.639	10155.865	10639.639	10155.865	10888.664	10403.689	13.5
14.5	10641.866	10158.087	10641.866	10158.087	10890.882	10405.901	14.5
15.5	10644.247	10160.461	10644.247	10160.461	10893.252	10408.266	15.5
16.5	10646.781	10162.989	10646.781	10162.989	10895.776	10410.783	16.5
17.5	10649.468	10165.669	10649.468	10165.669	10898.452	10413.452	17.5
18.5	10652.309	10168.503	10652.309	10168.503	10901.281	10416.274	18.5
19.5	10655.300	10171.490	10655.300	10171.490	10904.263	10419.248	19.5
20.5	10658.452	10174.630	10658.452	10174.630	10907.398	10422.375	20.5
21.5	10661.754	10177.923	10661.754	10177.923	10910.685	10425.654	21.5
22.5	10665.208	10181.369	10665.208	10181.369	10914.126	10429.085	22.5
23.5	10668.817	10184.968	10668.817	10184.968	10917.719	10432.669	23.5
24.5	10672.579	10188.720	10672.579	10188.720	10921.465	10436.406	24.5
25.5	10676.494	10192.625	10676.494	10192.625	10925.364	10440.294	25.5
26.5	10680.562	10196.683	10680.562	10196.683	10929.415	10444.335	26.5
27.5	10684.784	10200.894	10684.784	10200.894	10933.619	10448.528	27.5
28.5	10689.159	10205.258	10689.159	10205.258	10937.976	10452.874	28.5
29.5	10693.688	10209.775	10693.688	10209.775	10942.486	10457.372	29.5
30.5	10698.370	10214.444	10698.370	10214.444	10947.148	10462.022	30.5
31.5	10703.205	10219.267	10703.205	10219.267	10951.963	10466.824	31.5
32.5	10708.193	10224.242	10708.193	10224.242	10956.930	10471.779	32.5
33.5	10713.335	10229.371	10713.335	10229.371	10962.050	10476.885	33.5
34.5	10718.630	10234.652	10718.630	10234.652	10967.323	10482.134	34.5
35.5	10724.078	10240.086	10724.078	10240.086	10972.748	10487.525	35.5
36.5	10729.679	10245.672	10729.679	10245.672	10978.325	10493.118	36.5
37.5	10735.433	10251.412	10735.433	10251.412	10984.055	10498.933	37.5
38.5	10741.341	10257.304	10741.341	10257.304	10989.938	10504.701	38.5
39.5	10747.401	10263.349	10747.401	10263.349	10995.973	10510.720	39.5
40.5	10753.614	10269.546	10753.614	10269.546	11002.160	10516.891	40.5
41.5	10759.982	10275.892	10759.982	10275.892	11008.500	10523.218	41.5
42.5	10766.501	10282.389	10766.501	10282.389	11014.992	10529.690	42.5
43.5	10773.173	10289.054	10773.173	10289.054	11021.636	10536.317	43.5
44.5	10779.998	10295.862	10779.998	10295.862	11028.433	10543.096	44.5
45.5	10786.977	10302.822	10786.977	10302.822	11035.382	10550.027	45.5
46.5	10794.108	10309.934	10794.108	10309.934	11042.483	10557.109	46.5
47.5	10801.392	10317.200	10801.392	10317.200	11049.736	10564.344	47.5
48.5	10808.829	10324.617	10808.829	10324.617	11057.142	10571.730	48.5
49.5	10816.418	10332.187	10816.418	10332.187	11064.700	10579.268	49.5
50.5	10824.161	10339.909	10824.161	10339.909	11072.409	10586.958	50.5
51.5	10832.056	10347.784	10832.056	10347.784	11080.271	10594.799	51.5
52.5	10840.103	10355.811	10840.103	10355.811	11088.285	10602.792	52.5
53.5	10848.304	10363.989	10848.304	10363.989	11096.451	10610.936	53.5
54.5	10856.657	10372.321	10856.657	10372.321	11104.768	10619.232	54.5
55.5	10865.165	10380.807	10865.165	10380.807	11113.238	10627.680	55.5
56.5	10873.820	10389.440	10873.820	10389.440	11121.859	10636.279	56.5
57.5	10882.630	10398.227	10882.630	10398.227	11130.633	10645.029	57.5
58.5	10891.593	10407.167	10891.593	10407.166	11139.558	10653.931	58.5

125.5	11836.578	11349.658	11836.578	11349.654	12080.537	11592.420	125.5
126.5	11855.773	11368.801	11855.773	11368.798	12099.650	11611.481	126.5
127.5	11875.116	11388.092	11875.116	11388.089	12118.910	11630.690	127.5
128.5	11894.604	11407.526	11894.604	11407.522	12138.217	11650.134	128.5
129.5	11914.245	11427.116	11914.245	11427.113	12157.672	11669.847	129.5
130.5	11934.031	11446.849	11934.031	11446.845	12177.574	11689.196	130.5
131.5	11953.964	11466.729	11953.964	11466.725	12197.422	11708.991	131.5
132.5	11974.046	11486.756	11974.046	11486.752	12217.417	11728.932	132.5
133.5	11994.274	11506.930	11994.274	11506.927	12237.560	11749.020	133.5
134.5	12014.650	11527.251	12014.650	11527.247	12257.848	11769.554	134.5
135.5	12035.165	11547.715	12035.165	11547.711	12278.275	11789.634	135.5
136.5	12055.843	11568.320	12055.843	11568.320	12298.845	11810.160	136.5
137.5	12076.660	11589.095	12076.660	11589.090	12319.594	11830.832	137.5
138.5	12097.624	11610.002	12097.624	11610.000	12340.468	11851.650	138.5
139.5	12118.735	11631.056	12118.735	11631.052	12361.485	11872.614	139.5
140.5	12139.993	11652.256	12139.993	11652.252	12382.658	11893.723	140.5
141.5	12161.397	11673.603	12161.397	11673.598	12403.968	11914.978	141.5
142.5	12182.943	11695.095	12182.940	11695.090	12425.426	11936.378	142.5
143.5	12204.645	11716.734	12204.645	11716.729	12447.031	11957.924	143.5
144.5	12226.489	11738.518	12226.489	11738.513	12468.780	11979.615	144.5
145.5	12248.478	11760.448	12248.478	11760.443	12490.676	12001.451	145.5
146.5	12270.614	11782.524	12270.614	11782.519	12512.717	12023.432	146.5
147.5	12292.896	11804.745	12292.896	11804.740	12534.903	12045.558	147.5
148.5	12315.324	11827.111	12315.324	11827.107	12557.235	12067.829	148.5
149.5	12337.898	11849.625	12337.898	11849.621	12579.712	12090.248	149.5
150.5	12360.617	11872.281	12360.617	11872.277	12602.334	12112.804	150.5
151.5	12383.482	11895.085	12383.482	11895.079	12625.100	12135.509	151.5
152.5	12406.492	11918.032	12406.492	11918.027	12648.012	12158.358	152.5
153.5	12429.648	11941.125	12429.648	11941.119	12671.068	12181.351	153.5
154.5	12452.949	11964.363	12452.949	11964.357	12694.267	12204.489	154.5
155.5	12476.395	11987.745	12476.395	11987.739	12717.615	12227.770	155.5
156.5	12499.987	12011.272	12499.987	12011.266	12741.105	12251.196	156.5
157.5	12523.723	12034.943	12523.723	12034.937	12764.739	12274.765	157.5
158.5	12547.604	12058.759	12547.604	12058.752	12788.517	12298.478	158.5
159.5	12571.630	12082.719	12571.630	12082.712	12812.440	12322.335	159.5
160.5	12595.800	12106.823	12595.800	12106.816	12836.506	12346.335	160.5
161.5	12620.115	12131.072	12620.115	12131.065	12860.716	12370.479	161.5
162.5	12644.575	12155.464	12644.575	12155.457	12885.070	12394.766	162.5
163.5	12669.178	12180.000	12669.178	12180.000	12909.568	12419.196	163.5
164.5	12693.926	12204.680	12693.926	12204.674	12934.204	12443.769	164.5
165.5	12718.818	12229.503	12718.818	12229.496	12958.994	12468.485	165.5
166.5	12743.854	12254.470	12743.854	12254.464	12983.922	12493.345	166.5
167.5	12769.033	12279.580	12769.033	12279.572	13008.992	12518.346	167.5
168.5	12794.357	12304.833	12794.357	12304.826	13034.207	12543.491	168.5
169.5	12819.824	12330.230	12819.824	12330.222	13059.562	12568.777	169.5
170.5	12845.434	12355.770	12845.434	12355.761	13085.063	12594.206	170.5
171.5	12871.188	12381.452	12871.188	12381.444	13110.706	12619.789	171.5
172.5	12897.064	12407.277	12897.064	12407.268	13136.492	12645.493	172.5
173.5	12923.124	12433.254	12923.124	12433.237	13162.418	12671.347	173.5
174.5	12949.307	12459.355	12949.307	12459.347	13188.488	12697.344	174.5
175.5	12975.633	12485.608	12975.633	12485.599	13214.700	12723.483	175.5
176.5	13002.102	12512.003	13002.102	12512.000	13241.05		



Table with 4 columns of numerical data, rows 73-138.

Table with 4 columns of numerical data, rows 21-86.

Table with 4 columns of numerical data, rows 139-199.

Table with 4 columns of numerical data, rows 87-152.

Table with 4 columns of numerical data, rows 0-20.

Table with 4 columns of numerical data, rows 87-152.

Table with 10 columns and 20 rows of numerical data.

Table with 10 columns and 20 rows of numerical data.

Table with 10 columns and 20 rows of numerical data.

Table with 10 columns and 20 rows of numerical data.

Table with 10 columns and 20 rows of numerical data.

Table with 10 columns and 20 rows of numerical data.

Table with 10 columns and 20 rows of numerical data.

9

10

49.5	12283.358	11791.882	12283.358	11791.882	12522.595	12029.901	49.5
50.5	12290.906	11799.409	12290.906	11799.409	12530.110	12037.396	50.5
51.5	12298.454	11806.936	12298.454	11806.936	12537.711	12044.891	51.5
52.5	12306.002	11814.463	12306.002	11814.463	12545.306	12052.386	52.5
53.5	12313.550	11822.000	12313.550	11822.000	12552.901	12060.000	53.5
54.5	12321.100	11829.548	12321.100	11829.548	12560.500	12067.625	54.5
55.5	12328.650	11837.100	12328.650	11837.100	12568.100	12075.250	55.5
56.5	12336.200	11844.650	12336.200	11844.650	12575.700	12082.875	56.5
57.5	12343.750	11852.200	12343.750	11852.200	12583.300	12090.500	57.5
58.5	12351.300	11859.750	12351.300	11859.750	12590.900	12098.125	58.5
59.5	12358.850	11867.300	12358.850	11867.300	12598.500	12105.750	59.5
60.5	12366.400	11874.850	12366.400	11874.850	12606.100	12113.375	60.5
61.5	12373.950	11882.400	12373.950	11882.400	12613.700	12121.000	61.5
62.5	12381.500	11890.000	12381.500	11890.000	12621.300	12128.625	62.5
63.5	12389.050	11897.550	12389.050	11897.550	12628.900	12136.250	63.5
64.5	12396.600	11905.100	12396.600	11905.100	12636.500	12143.875	64.5
65.5	12404.150	11912.650	12404.150	11912.650	12644.100	12151.500	65.5
66.5	12411.700	11920.200	12411.700	11920.200	12651.700	12159.125	66.5
67.5	12419.250	11927.750	12419.250	11927.750	12659.300	12166.750	67.5
68.5	12426.800	11935.300	12426.800	11935.300	12666.900	12174.375	68.5
69.5	12434.350	11942.850	12434.350	11942.850	12674.500	12182.000	69.5
70.5	12441.900	11950.400	12441.900	11950.400	12682.100	12189.625	70.5
71.5	12449.450	11957.950	12449.450	11957.950	12689.700	12197.250	71.5
72.5	12457.000	11965.500	12457.000	11965.500	12697.300	12204.875	72.5
73.5	12464.550	11973.050	12464.550	11973.050	12704.900	12212.500	73.5
74.5	12472.100	11980.600	12472.100	11980.600	12712.500	12220.125	74.5
75.5	12479.650	11988.150	12479.650	11988.150	12720.100	12227.750	75.5
76.5	12487.200	11995.700	12487.200	11995.700	12727.700	12235.375	76.5
77.5	12494.750	12003.250	12494.750	12003.250	12735.300	12243.000	77.5
78.5	12502.300	12010.800	12502.300	12010.800	12742.900	12250.625	78.5
79.5	12509.850	12018.350	12509.850	12018.350	12750.500	12258.250	79.5
80.5	12517.400	12025.900	12517.400	12025.900	12758.100	12265.875	80.5
81.5	12524.950	12033.450	12524.950	12033.450	12765.700	12273.500	81.5
82.5	12532.500	12041.000	12532.500	12041.000	12773.300	12281.125	82.5
83.5	12540.050	12048.550	12540.050	12048.550	12780.900	12288.750	83.5
84.5	12547.600	12056.100	12547.600	12056.100	12788.500	12296.375	84.5
85.5	12555.150	12063.650	12555.150	12063.650	12796.100	12304.000	85.5
86.5	12562.700	12071.200	12562.700	12071.200	12803.700	12311.625	86.5
87.5	12570.250	12078.750	12570.250	12078.750	12811.300	12319.250	87.5
88.5	12577.800	12086.300	12577.800	12086.300	12818.900	12326.875	88.5
89.5	12585.350	12093.850	12585.350	12093.850	12826.500	12334.500	89.5
90.5	12592.900	12101.400	12592.900	12101.400	12834.100	12342.125	90.5
91.5	12600.450	12108.950	12600.450	12108.950	12841.700	12349.750	91.5
92.5	12608.000	12116.500	12608.000	12116.500	12849.300	12357.375	92.5
93.5	12615.550	12124.050	12615.550	12124.050	12856.900	12365.000	93.5
94.5	12623.100	12131.600	12623.100	12131.600	12864.500	12372.625	94.5
95.5	12630.650	12139.150	12630.650	12139.150	12872.100	12380.250	95.5
96.5	12638.200	12146.700	12638.200	12146.700	12879.700	12387.875	96.5
97.5	12645.750	12154.250	12645.750	12154.250	12887.300	12395.500	97.5
98.5	12653.300	12161.800	12653.300	12161.800	12894.900	12403.125	98.5
99.5	12660.850	12169.350	12660.850	12169.350	12902.500	12410.750	99.5
100.5	12668.400	12176.900	12668.400	12176.900	12910.100	12418.375	100.5
101.5	12675.950	12184.450	12675.950	12184.450	12917.700	12426.000	101.5
102.5	12683.500	12192.000	12683.500	12192.000	12925.300	12433.625	102.5
103.5	12691.050	12199.550	12691.050	12199.550	12932.900	12441.250	103.5
104.5	12698.600	12207.100	12698.600	12207.100	12940.500	12448.875	104.5
105.5	12706.150	12214.650	12706.150	12214.650	12948.100	12456.500	105.5
106.5	12713.700	12222.200	12713.700	12222.200	12955.700	12464.125	106.5
107.5	12721.250	12229.750	12721.250	12229.750	12963.300	12471.750	107.5
108.5	12728.800	12237.300	12728.800	12237.300	12970.900	12479.375	108.5
109.5	12736.350	12244.850	12736.350	12244.850	12978.500	12487.000	109.5
110.5	12743.900	12252.400	12743.900	12252.400	12986.100	12494.625	110.5
111.5	12751.450	12259.950	12751.450	12259.950	12993.700	12502.250	111.5
112.5	12759.000	12267.500	12759.000	12267.500	13001.300	12509.875	112.5
113.5	12766.550	12275.050	12766.550	12275.050	13008.900	12517.500	113.5
114.5	12774.100	12282.600	12774.100	12282.600	13016.500	12525.125	114.5

10

11

0.5	11844.479	0.000	12081.810	0.000	12081.810	0.000	0.5
1.5	12336.682	11844.479	12575.234	12081.810	12575.234	12081.810	1.5
2.5	12337.055	11844.851	12575.606	12082.181	12575.606	12082.181	2.5
3.5	12337.577	11845.372	12576.125	12082.699	12576.125	12082.699	3.5
4.5	12338.248	11846.041	12576.793	12083.365	12576.793	12083.365	4.5
5.5	12339.068	11846.859	12577.610	12084.180	12577.610	12084.180	5.5
6.5	12340.037	11847.825	12578.575	12085.142	12578.575	12085.142	6.5
7.5	12341.155	11848.941	12579.689	12086.259	12579.689	12086.259	7.5
8.5	12342.423	11850.205	12580.951	12087.511	12580.951	12087.511	8.5
9.5	12343.839	11851.618	12582.361	12088.916	12582.361	12088.916	9.5
10.5	12345.405	11853.179	12583.920	12090.473	12583.920	12090.473	10.5
11.5	12347.123	11854.889	12585.627	12092.176	12585.627	12092.176	11.5
12.5	12348.993	11856.748	12587.483	12094.027	12587.483	12094.027	12.5
13.5	12350.996	11858.755	12589.487	12096.025	12589.487	12096.025	13.5
14.5	12353.158	11860.912	12591.640	12098.172	12591.640	12098.172	14.5
15.5	12355.469	11863.216	12593.941	12100.467	12593.941	12100.467	15.5
16.5	12357.929	11865.670	12596.390	12102.910	12596.390	12102.910	16.5
17.5	12360.538	11868.272	12598.988	12105.501	12598.988	12105.501	17.5
18.5	12363.295	11871.022	12601.734	12108.240	12601.734	12108.240	18.5
19.5	12366.202	11873.922	12604.628	12111.127	12604.628	12111.127	19.5
20.5	12369.258	11876.969	12607.671	12114.161	12607.671	12114.161	20.5
21.5	12372.463	11880.166	12610.862	12117.344	12610.862	12117.344	21.5
22.5	12375.818	11883.511	12614.207	12120.677	12614.207	12120.677	22.5
23.5	12379.319	11887.004	12617.689	12124.159	12617.689	12124.159	23.5
24.5	12382.971	11890.646	12621.325	12127.779	12621.325	12127.779	24.5
25.5	12386.772	11894.437	12625.109	12131.554	12625.109	12131.554	25.5
26.5	12390.721	11898.376	12629.042	12135.476	12629.042	12135.476	26.5
27.5	12394.819	11902.463	12633.123	12139.554	12633.123	12139.554	27.5
28.5	12399.066	11906.699	12637.352	12143.763	12637.352	12143.763	28.5
29.5	12403.462	11911.083	12641.729	12148.129	12641.729	12148.129	29.5
30.5	12408.007	11915.616	12646.254	12152.642	12646.254	12152.642	30.5
31.5	12412.700	11920.297	12650.927	12157.303	12650.927	12157.303	31.5
32.5	12417.543	11925.126	12655.749	12162.112	12655.749	12162.112	32.5
33.5	12422.534	11930.104	12660.718	12167.068	12660.718	12167.068	33.5
34.5	12427.673	11935.230	12665.836	12172.172	12665.836	12172.172	34.5
35.5	12432.962	11940.505	12671.102	12177.424	12671.102	12177.424	35.5
36.5	12438.399	11945.927	12676.515	12182.823	12676.515	12182.823	36.5
37.5	12443.984	11951.498	12682.077	12188.362	12682.077	12188.362	37.5
38.5	12449.718	11957.217	12687.781	12194.045	12687.781	12194.045	38.5
39.5	12455.601	11963.084	12693.624	12199.879	12693.624	12199.879	39.5
40.5	12461.633	11969.100	12699.604	12205.866	12699.604	12205.866	40.5
41.5	12467.813	11975.263	12705.803	12211.905	12705.803	12211.905	41.5
42.5	12474.141	11981.575	12712.104	12218.000	12712.104	12218.000	42.5
43.5	12480.618	11988.035	12718.554	12224.250	12718.554	12224.250	43.5
44.5	12487.243	11994.648	12725.150	12230.659	12725.150	12230.659	44.5
45.5	12494.014	12001.416	12731.892	12237.215	12731.892	12237.215	45.5
46.5	12500.939	12008.332	12738.787	12243.927	12738.787	12243.927	46.5
47.5	12508.009	12015.354	12745.827	12250.791	12745.827	12	

Table with 10 columns of numerical data, rows 129-179.

Table with 10 columns of numerical data, rows 77-179.

Table with 10 columns of numerical data, rows 0.5-10.5.

Table with 10 columns of numerical data, rows 77.5-142.5.

Table with 10 columns of numerical data, rows 11.5-76.5.

Table with 10 columns of numerical data, rows 143.5-179.5.

Table with 10 columns of numerical data, rows 0.5-24.5.

Table with 10 columns of numerical data, rows 25 to 90.

Table with 10 columns of numerical data, rows 157 to 179.

Table with 10 columns of numerical data, rows 157 to 179, including sub-headers J, 15, and 16.

Table with 10 columns of numerical data, rows 91 to 156.

Table with 10 columns of numerical data, rows 39 to 104.

Table with 4 columns of numerical data, rows 105.5 to 170.5.

Table with 4 columns of numerical data, rows 53.5 to 118.5.

Table with 4 columns of numerical data, rows 171.5 to 52.5.

Table with 4 columns of numerical data, rows 119.5 to 179.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 1.5 to 66.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 67.5 to 132.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 133.5 to 198.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 0.5 to 14.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 15.5 to 80.5.

81.5	11665.758	11027.314	11918.760	11294.217	11918.763	11281.021	81.5
82.5	11679.031	11040.520	11931.975	11307.526	11931.975	11294.169	82.5
83.5	11692.463	11053.885	11945.349	11320.993	11945.353	11307.476	83.5
84.5	11706.055	11067.409	11958.882	11334.619	11958.885	11320.942	84.5
85.5	11719.805	11081.093	11972.572	11348.403	11972.576	11334.566	85.5
86.5	11733.714	11094.935	11986.421	11362.346	11986.425	11348.388	86.5
87.5	11747.782	11108.937	12000.428	11376.446	12000.432	11362.388	87.5
88.5	11762.004	11123.096	12014.524	11390.610	12014.528	11376.472	88.5
89.5	11776.395	11137.416	12028.618	11404.835	12028.622	11390.645	89.5
90.5	11790.939	11151.894	12042.814	11419.119	12042.818	11404.918	90.5
91.5	11805.641	11166.531	12057.153	11433.463	12057.157	11419.634	91.5
92.5	11820.503	11181.327	12071.638	11447.867	12071.642	11433.593	92.5
93.5	11835.522	11196.281	12086.270	11462.330	12086.274	11447.715	93.5
94.5	11850.700	11211.393	12102.049	11476.853	12102.053	11462.008	94.5
95.5	11866.038	11226.666	12117.974	11491.435	12117.978	11476.359	95.5
96.5	11881.530	11242.094	12134.153	11506.077	12134.157	11490.766	96.5
97.5	11897.183	11257.682	12150.586	11520.781	12150.590	11505.230	97.5
98.5	11912.993	11273.427	12167.274	11535.546	12167.278	11519.751	98.5
99.5	11928.962	11289.334	12184.216	11550.371	12184.220	11534.326	99.5
100.5	11945.088	11305.394	12191.314	11565.256	12191.318	11548.955	100.5
101.5	11961.372	11321.614	12208.572	11580.200	12208.576	11563.638	101.5
102.5	11977.814	11337.992	12226.099	11595.204	12226.103	11578.375	102.5
103.5	11994.412	11354.538	12243.896	11610.268	12243.900	11593.166	103.5
104.5	12011.171	11371.252	12261.961	11625.391	12261.965	11608.011	104.5
105.5	12028.085	11388.073	12280.295	11640.574	12280.299	11622.910	105.5
106.5	12045.158	11405.001	12298.898	11655.817	12298.902	11637.863	106.5
107.5	12062.387	11422.240	12317.763	11671.120	12317.767	11652.870	107.5
108.5	12079.774	11439.572	12336.897	11686.484	12336.901	11667.931	108.5
109.5	12097.317	11457.005	12356.300	11701.915	12356.304	11683.054	109.5
110.5	12115.018	11474.538	12375.973	11717.414	12375.977	11698.240	110.5
111.5	12132.876	11492.171	12395.916	11732.981	12395.920	11713.488	111.5
112.5	12150.891	11510.439	12416.128	11748.714	12416.132	11728.798	112.5
113.5	12169.066	11529.342	12437.107	11764.611	12437.111	11744.161	113.5
114.5	12187.397	11548.885	12458.853	11780.772	12458.857	11759.584	114.5
115.5	12205.884	11569.078	12481.366	11797.205	12481.370	11775.075	115.5
116.5	12224.517	11589.919	12504.646	11813.918	12504.650	11790.634	116.5
117.5	12243.301	11607.555	12528.699	11830.911	12528.703	11806.263	117.5
118.5	12262.240	11626.088	12553.524	11848.184	12553.528	11821.962	118.5
119.5	12281.341	11645.519	12579.129	11865.737	12579.133	11837.731	119.5
120.5	12300.604	11664.950	12605.514	11883.570	12605.518	11853.564	120.5
121.5	12320.031	11684.381	12632.689	11901.683	12632.693	11869.463	121.5
122.5	12339.624	11703.812	12660.554	11920.076	12660.558	11885.428	122.5
123.5	12359.381	11723.243	12689.119	11938.749	12689.123	11901.459	123.5
124.5	12379.297	11742.674	12718.384	11957.702	12718.388	11917.556	124.5
125.5	12399.374	11762.105	12748.349	11976.935	12748.353	11933.719	125.5
126.5	12419.524	11781.536	12778.914	11996.348	12778.918	11950.048	126.5
127.5	12439.841	11800.967	12809.179	12015.941	12809.183	11966.543	127.5
128.5	12460.326	11820.398	12839.134	12035.714	12839.136	11983.194	128.5
129.5	12480.974	11839.829	12868.789	12055.667	12868.791	11999.999	129.5
130.5	12501.781	11859.260	12898.144	12075.800	12898.146	12017.048	130.5
131.5	12522.742	11878.691	12927.199	12096.113	12927.201	12034.251	131.5
132.5	12543.859	11898.122	12955.954	12116.606	12955.956	12051.604	132.5
133.5	12565.134	11917.553	12984.919	12137.279	12984.921	12069.107	133.5
134.5	12586.567	11936.984	13014.094	12158.132	13014.096	12086.760	134.5
135.5	12608.159	11956.415	13043.479	12179.165	13043.481	12104.563	135.5
136.5	12629.910	11975.846	13073.074	12200.378	13073.076	12122.506	136.5
137.5	12651.821	11995.277	13102.889	12221.771	13102.891	12140.609	137.5
138.5	12673.892	12014.708	13132.914	12243.344	13132.916	12158.872	138.5
139.5	12696.123	12034.139	13163.149	12265.097	13163.151	12177.395	139.5
140.5	12718.514	12053.570	13193.594	12287.030	13193.596	12196.168	140.5
141.5	12741.065	12073.001	13224.249	12309.143	13224.251	12215.191	141.5
142.5	12763.776	12092.432	13255.024	12331.436	13255.026	12234.464	142.5
143.5	12786.647	12111.863	13285.919	12353.909	13285.921	12253.987	143.5
144.5	12809.678	12131.294	13316.934	12376.562	13316.936	12273.760	144.5
145.5	12832.869	12150.725	13348.069	12399.395	13348.071	12293.783	145.5
146.5	12856.120	12170.156	13379.324	12422.408	13379.326	12314.046	146.5

147.5	12879.550	12189.587	13410.699	12445.621	13410.701	12334.369	147.5
148.5	12903.151	12209.018	13441.354	12470.974	13441.356	12354.812	148.5
149.5	12926.902	12228.449	13472.229	12496.509	13472.231	12375.415	149.5
150.5	12950.813	12247.880	13503.324	12522.224	13503.326	12396.178	150.5
151.5	12974.884	12267.311	13534.639	12548.197	13534.641	12417.091	151.5
152.5	12999.115	12286.742	13566.174	12574.340	13566.176	12438.254	152.5
153.5	13023.506	12306.173	13597.929	12600.653	13597.931	12459.667	153.5
154.5	13048.057	12325.604	13630.004	12627.136	13630.006	12481.330	154.5
155.5	13072.768	12345.035	13662.309	12653.789	13662.311	12503.243	155.5
156.5	13097.639	12364.466	13694.844	12680.612	13694.846	12525.406	156.5
157.5	13122.670	12383.897	13727.609	12707.605	13727.611	12547.819	157.5
158.5	13147.861	12403.328	13760.704	12734.768	13760.710	12570.482	158.5
159.5	13173.202	12422.759	13794.029	12762.101	13794.031	12593.395	159.5
160.5	13198.693	12442.190	13827.574	12789.604	13827.576	12616.558	160.5
161.5	13224.334	12461.621	13861.339	12817.277	13861.341	12639.971	161.5
162.5	13250.125	12481.052	13895.324	12845.120	13895.326	12663.634	162.5
163.5	13276.066	12500.483	13929.529	12873.133	13929.531	12687.547	163.5
164.5	13302.157	12519.914	13963.954	12901.316	13963.956	12711.710	164.5
165.5	13328.398	12539.345	13998.609	12929.669	13998.611	12736.123	165.5
166.5	13354.789	12558.776	14033.494	12958.192	14033.496	12760.786	166.5
167.5	13381.330	12578.207	14068.619	12986.885	14068.621	12785.699	167.5
168.5	13408.021	12597.638	14103.984	13015.748	14103.986	12810.852	168.5
169.5	13434.862	12617.069	14139.599	13044.781	14139.601	12836.245	169.5
170.5	13461.853	12636.500	14175.464	13074.984	14175.466	12861.878	170.5
171.5	13488.994	12655.931	14211.589	13105.359	14211.591	12887.751	171.5
172.5	13516.285	12675.362	14247.974	13135.904	14247.976	12913.864	172.5
173.5	13543.726	12694.793	14284.719	13166.617	14284.721	12940.207	173.5
174.5	13571.317	12714.224	14321.724	13197.492	14321.726	12966.780	174.5
175.5	13599.058	12733.655	14358.989	13228.529	14358.991	12993.583	175.5
176.5	13626.949	12753.086	14396.514	13259.732	14396.516	13020.606	176.5
177.5	13654.990	12772.517	14434.299	13291.107	14434.301	13047.849	177.5
178.5	13683.181	12791.948	14472.354	13322.652	14472.356	13075.312	178.5
179.5	13711.522	12811.379	14510.679	13354.367	14510.681	13103.095	179.5

0.5	11001.614	0.000	11001.454	0.000	11254.424	0.000	0.5
1.5	11632.763	11001.936	11632.763	11001.614	11884.923	11254.744	1.5
2.5	11633.164	11002.417	11633.164	11001.936	11885.322	11255.223	2.5
3.5	11633.725	11003.060	11633.725	11002.417	11885.881	11255.863	3.5
4.5	11634.447	11003.862	11634.447	11003.060	11886.600	11256.662	4.5
5.5	11635.329	11004.826	11635.329	11003.862	11887.479	11257.622	5.5
6.5	11636.371	11005.949	11636.371	11004.826	11888.511	11258.741	6.5
7.5	11637.573	11007.234	11637.573	11005.949	11889.714	11260.020	7.5
8.5	11638.937	11008.679	11638.937	11007.234	11891.071	11261.458	8.5
9.5	11640.461	11010.284	11640.461	11008.679	11892.588	11263.057	9.5
10.5	11642.145	11012.050	11642.145	11010.284	11894.265	11264.815	10.5
11.5	11643.989	11013.976	11643.989	11012.050	11896.101	11266.733	11.5
12.5	11645.994	11016.063	11645.994	11013.976	11898.097	11268.811	12.5
13.5	11648.158	11018.310	11648.158	11016.063	11900.252	11271.049	13.5
14.5	11650.484	11020.718	11650.484				



2 | 3

Table with 5 columns of numerical data, rows 161-179.

3 | 4

Table with 5 columns of numerical data, rows 0.5-42.5.

5 | 6

Table with 5 columns of numerical data, rows 109-174.

Table with 5 columns of numerical data, rows 43-108.

Table with 5 columns of numerical data, rows 175-56.

Table with 4 columns of numerical data, rows 57.5 to 122.5.

Table with 4 columns of numerical data, rows 5.5 to 70.5.

Table with 4 columns of numerical data, rows 121.5 to 179.5.

Table with 4 columns of numerical data, rows 71.5 to 136.5.

Table with 4 columns of numerical data, rows 0.5 to 4.5.

Table with 4 columns of numerical data, rows 71.5 to 136.5.

137.5	14120.559	13482.684	14359.883	13744.290	14359.954	13722.602	137.5
138.5	14142.042	13504.110	14381.270	13765.775	14381.240	13743.933	138.5
139.5	14163.674	13525.686	14402.807	13787.409	14402.776	13765.413	139.5
140.5	14185.427	13547.312	14423.342	13809.045	14423.311	13787.049	140.5
141.5	14207.300	13568.989	14444.328	13831.126	14444.296	13808.820	141.5
142.5	14229.472	13591.316	14468.312	13853.208	14468.279	13830.748	142.5
143.5	14251.704	13613.492	14490.455	13875.438	14490.412	13852.825	143.5
144.5	14274.086	13635.817	14512.727	13897.818	14512.693	13875.051	144.5
145.5	14296.617	13658.292	14535.158	13920.347	14535.123	13897.425	145.5
146.5	14319.297	13680.917	14557.737	13943.024	14557.702	13919.949	146.5
147.5	14342.127	13703.592	14580.465	13965.857	14580.422	13942.571	147.5
148.5	14365.106	13726.614	14603.342	13988.824	14603.305	13965.441	148.5
149.5	14388.233	13749.686	14626.366	14011.947	14626.329	13988.410	149.5
150.5	14411.510	13772.907	14649.539	14035.217	14649.501	14011.526	150.5
151.5	14434.936	13796.277	14672.860	14058.636	14672.822	14034.791	151.5
152.5	14458.510	13819.796	14696.329	14082.200	14696.289	14058.204	152.5
153.5	14482.232	13843.463	14719.946	14105.917	14719.905	14081.765	153.5
154.5	14506.104	13867.278	14743.711	14129.797	14743.669	14105.474	154.5
155.5	14530.123	13891.242	14767.623	14153.788	14767.580	14129.330	155.5
156.5	14554.291	13915.354	14791.683	14177.964	14791.639	14153.334	156.5
157.5	14578.606	13939.614	14815.890	14202.250	14815.845	14177.485	157.5
158.5	14603.070	13964.022	14840.244	14226.701	14840.199	14201.783	158.5
159.5	14627.682	13988.578	14864.746	14251.300	14864.700	14226.229	159.5
160.5	14652.441	14013.282	14889.394	14276.045	14889.347	14250.821	160.5
161.5	14677.348	14038.133	14914.190	14300.938	14914.142	14275.560	161.5
162.5	14702.402	14063.132	14939.132	14325.977	14939.083	14300.425	162.5
163.5	14727.604	14088.278	14964.221	14351.162	14964.171	14325.479	163.5
164.5	14752.952	14113.571	14989.456	14376.494	14989.406	14350.658	164.5
165.5	14778.449	14139.011	15014.838	14401.972	15014.787	14375.984	165.5
166.5	14804.092	14164.598	15040.366	14427.597	15040.314	14401.455	166.5
167.5	14829.882	14190.332	15066.041	14453.367	15065.980	14427.073	167.5
168.5	14855.819	14216.212	15091.861	14479.283	15091.807	14452.837	168.5
169.5	14881.903	14242.239	15117.828	14505.345	15117.773	14478.746	169.5
170.5	14908.132	14268.413	15143.940	14531.552	15143.904	14504.801	170.5
171.5	14934.509	14294.732	15170.198	14557.905	15170.141	14531.002	171.5
172.5	14961.031	14321.198	15196.601	14584.404	15196.543	14557.348	172.5
173.5	14987.700	14347.810	15223.150	14611.047	15223.091	14583.839	173.5
174.5	15014.514	14374.567	15249.884	14637.835	15249.784	14610.475	174.5
175.5	15041.475	14401.470	15276.682	14664.769	15276.622	14637.257	175.5
176.5	15068.581	14428.519	15303.667	14691.847	15303.606	14664.183	176.5
177.5	15095.833	14455.713	15330.792	14719.070	15330.734	14691.254	177.5
178.5	15123.230	14483.052	15358.070	14746.437	15358.007	14718.469	178.5
179.5	15150.773	14510.537	15385.489	14773.948	15385.424	14745.829	179.5

85.5	13697.808	13077.803	13697.799	13064.258	13938.044	13319.570	85.5
86.5	13711.237	13091.324	13711.228	13077.623	13951.414	13332.031	86.5
87.5	13724.820	13104.999	13724.810	13091.142	13964.939	13345.446	87.5
88.5	13738.544	13118.724	13738.534	13104.719	13979.516	13358.914	88.5
89.5	13752.425	13132.808	13752.435	13118.639	13992.439	13373.332	89.5
90.5	13766.487	13146.943	13766.477	13132.617	14006.419	13387.404	90.5
91.5	13780.683	13161.230	13780.671	13146.748	14020.551	13401.628	91.5
92.5	13795.031	13175.671	13795.019	13161.033	14034.835	13416.005	92.5
93.5	13809.531	13190.265	13809.520	13175.470	14049.272	13430.534	93.5
94.5	13824.185	13205.111	13824.173	13190.061	14063.860	13445.215	94.5
95.5	13838.991	13219.911	13838.979	13204.804	14078.601	13460.048	95.5
96.5	13853.950	13234.963	13853.937	13219.700	14093.494	13475.034	96.5
97.5	13869.062	13250.168	13869.048	13234.749	14108.538	13490.171	97.5
98.5	13884.326	13265.525	13884.312	13249.951	14123.734	13505.461	98.5
99.5	13899.742	13281.035	13899.728	13265.305	14139.082	13520.902	99.5
100.5	13915.311	13296.697	13915.296	13280.811	14154.581	13536.494	100.5
101.5	13931.031	13312.512	13931.016	13296.470	14170.232	13552.239	101.5
102.5	13946.904	13328.479	13946.889	13312.282	14186.035	13568.152	102.5
103.5	13962.929	13344.598	13962.914	13328.245	14201.988	13584.183	103.5
104.5	13979.106	13360.870	13979.090	13344.361	14218.093	13600.382	104.5
105.5	13995.435	13377.293	13995.419	13360.629	14234.350	13616.732	105.5
106.5	14011.916	13393.868	14011.899	13377.048	14250.757	13633.234	106.5
107.5	14028.549	13410.596	14028.531	13393.620	14267.316	13649.887	107.5
108.5	14045.333	13427.474	14045.314	13410.344	14284.025	13666.690	108.5
109.5	14062.269	13444.505	14062.250	13427.219	14300.885	13683.645	109.5
110.5	14079.356	13461.687	14079.337	13444.146	14317.899	13700.751	110.5
111.5	14096.594	13479.021	14096.574	13461.424	14335.058	13717.008	111.5
112.5	14113.984	13496.506	14113.964	13478.754	14352.371	13733.415	112.5
113.5	14131.525	13514.143	14131.504	13496.236	14369.839	13750.273	113.5
114.5	14149.218	13531.931	14149.196	13513.868	14387.447	13767.682	114.5
115.5	14167.061	13549.870	14167.039	13533.652	14405.211	13784.541	115.5
116.5	14185.055	13567.960	14185.033	13549.587	14423.125	13801.550	116.5
117.5	14203.201	13586.201	14203.179	13567.673	14441.189	13818.717	117.5
118.5	14221.496	13604.593	14221.473	13585.910	14459.403	13836.020	118.5
119.5	14239.943	13623.136	14239.919	13604.296	14477.767	13853.480	119.5
120.5	14258.540	13641.829	14258.515	13622.837	14496.282	13870.090	120.5
121.5	14277.288	13660.673	14277.262	13641.526	14514.945	13886.849	121.5
122.5	14296.186	13679.667	14296.160	13660.366	14533.759	13903.759	122.5
123.5	14315.235	13698.812	14315.208	13679.356	14552.722	13920.818	123.5
124.5	14334.433	13718.108	14334.406	13698.496	14571.835	13938.027	124.5
125.5	14353.782	13737.553	14353.754	13717.787	14591.098	13955.386	125.5
126.5	14373.281	13757.149	14373.252	13737.228	14610.509	13972.894	126.5
127.5	14392.930	13776.894	14392.900	13756.819	14630.070	14010.451	127.5
128.5	14412.728	13796.790	14412.698	13776.560	14649.780	14030.357	128.5
129.5	14432.677	13816.835	14432.646	13796.451	14669.639	14050.313	129.5
130.5	14452.775	13837.030	14452.743	13816.492	14689.647	14070.417	130.5
131.5	14473.022	13857.374	14473.990	13836.882	14709.804	14090.671	131.5
132.5	14493.519	13877.868	14493.486	13857.022	14730.109	14111.075	132.5
133.5	14514.166	13898.512	14514.134	13877.811	14750.563	14131.624	133.5
134.5	14534.961	13919.304	14534.926	13898.150	14771.166	14152.334	134.5
135.5	14555.906	13940.246	14555.870	13918.938	14791.917	14173.171	135.5
136.5	14576.999	13961.337	14576.963	13939.875	14812.817	14194.168	136.5
137.5	14598.242	13982.577	14598.206	13960.961	14833.864	14214.312	137.5
138.5	14619.633	14003.966	14619.596	13982.196	14855.060	14234.605	138.5
139.5	14641.176	14025.505	14641.139	14003.580	14876.404	14262.046	139.5
140.5	14662.872	14047.199	14662.835	14024.912	14897.891	14290.631	140.5
141.5	14684.620	14069.024	14684.583	14046.793	14919.535	14319.311	141.5
142.5	14706.518	14091.007	14706.481	14068.622	14941.322	14342.255	142.5
143.5	14728.566	14113.138	14728.529	14090.600	14963.257	14369.287	143.5
144.5	14750.764	14135.418	14750.727	14112.726	14985.339	14391.466	144.5
145.5	14773.112	14157.847	14773.075	14135.000	15007.569	14419.727	145.5
146.5	14795.609	14180.421	14795.564	14157.422	15029.946	14448.166	146.5
147.5	14818.256	14203.139	14818.219	14180.992	15052.477	14477.785	147.5
148.5	14841.054	14226.015	14841.017	14203.719	15075.156	14507.585	148.5
149.5	14864.000	14249.033	14864.963	14226.599	15097.984	14538.670	149.5
150.5	14887.100	14272.199	14887.063	14249.726	15121.063	14570.011	150.5

0.5	12494.640	0.000	12494.490	0.000	12737.978	0.000	0.5
1.5	12494.141	12494.962	13122.141	12494.646	13364.917	12738.390	1.5
2.5	13122.531	12495.432	13122.531	12494.958	13365.30		

33.5	13454.472	12825.095	13695.314	13071.820	13695.314	13066.482	33.5
34.5	13459.834	12820.383	13700.452	13077.241	13700.452	13071.746	34.5
35.5	13465.350	12835.826	13706.144	13082.817	13706.144	13077.165	35.5
36.5	13471.021	12841.424	13711.790	13088.547	13711.789	13082.739	36.5
37.5	13476.847	12847.177	13717.591	13094.432	13717.590	13088.466	37.5
38.5	13482.829	12853.086	13723.546	13101.465	13723.546	13094.348	38.5
39.5	13488.952	12859.054	13729.654	13107.654	13729.654	13100.289	39.5
40.5	13495.256	12865.162	13735.919	13113.012	13735.917	13106.576	40.5
41.5	13501.702	12871.342	13742.336	13119.514	13742.335	13112.921	41.5
42.5	13508.303	12878.270	13748.908	13126.170	13748.907	13119.421	42.5
43.5	13515.059	12884.954	13755.634	13132.981	13755.633	13126.075	43.5
44.5	13521.969	12891.793	13762.514	13139.946	13762.512	13132.894	44.5
45.5	13529.034	12898.786	13769.548	13147.065	13769.548	13139.946	45.5
46.5	13536.257	12905.935	13776.735	13154.339	13776.735	13147.269	46.5
47.5	13543.629	12913.238	13784.079	13161.766	13784.077	13154.734	47.5
48.5	13551.158	12920.696	13791.575	13169.348	13791.573	13161.659	48.5
49.5	13558.842	12928.309	13799.225	13177.084	13799.222	13169.238	49.5
50.5	13566.681	12936.077	13807.029	13184.973	13807.026	13176.971	50.5
51.5	13574.674	12943.999	13814.987	13193.017	13814.984	13184.859	51.5
52.5	13582.821	12952.076	13823.096	13201.215	13823.095	13192.900	52.5
53.5	13591.125	12960.301	13831.363	13209.561	13831.360	13201.095	53.5
54.5	13599.579	12968.694	13839.782	13218.072	13839.779	13209.444	54.5
55.5	13608.190	12977.234	13848.355	13226.731	13848.352	13217.947	55.5
56.5	13616.954	12985.929	13857.081	13235.544	13857.078	13226.603	56.5
57.5	13625.874	12994.779	13865.961	13244.511	13865.957	13235.414	57.5
58.5	13634.947	13003.783	13874.995	13253.631	13874.991	13244.378	58.5
59.5	13644.175	13012.941	13884.181	13262.905	13884.177	13253.496	59.5
60.5	13653.556	13022.254	13893.522	13272.333	13893.517	13262.767	60.5
61.5	13663.091	13031.721	13903.019	13281.914	13903.016	13272.192	61.5
62.5	13672.782	13041.342	13912.663	13291.648	13912.658	13281.770	62.5
63.5	13682.625	13051.117	13922.463	13301.536	13922.458	13291.502	63.5
64.5	13692.623	13061.047	13932.417	13311.578	13932.411	13301.388	64.5
65.5	13702.775	13071.130	13942.523	13321.773	13942.518	13311.426	65.5
66.5	13713.080	13081.368	13952.783	13332.121	13952.777	13321.619	66.5
67.5	13723.539	13091.759	13963.196	13342.622	13963.190	13331.964	67.5
68.5	13734.152	13102.304	13973.762	13353.277	13973.756	13342.462	68.5
69.5	13744.918	13113.004	13984.484	13364.084	13984.479	13353.114	69.5
70.5	13755.838	13123.857	13995.353	13375.045	13995.346	13363.919	70.5
71.5	13766.912	13134.863	14006.378	13386.159	14006.371	13374.877	71.5
72.5	13778.139	13146.024	14017.556	13397.426	14017.548	13385.988	72.5
73.5	13789.520	13157.338	14028.886	13408.845	14028.878	13397.251	73.5
74.5	13801.054	13168.805	14040.369	13420.418	14040.361	13408.668	74.5
75.5	13812.741	13180.426	14052.005	13432.143	14052.000	13420.238	75.5
76.5	13824.581	13192.204	14063.793	13444.021	14063.786	13431.968	76.5
77.5	13836.575	13204.129	14075.734	13456.052	14075.725	13443.835	77.5
78.5	13848.722	13216.210	14087.827	13468.235	14087.818	13455.862	78.5
79.5	13861.022	13228.445	14100.073	13480.571	14100.063	13468.043	79.5
80.5	13873.475	13240.833	14112.471	13493.059	14112.461	13480.375	80.5
81.5	13886.081	13253.373	14125.021	13505.700	14125.011	13492.861	81.5
82.5	13898.840	13266.067	14137.724	13518.503	14137.713	13505.498	82.5
83.5	13911.751	13278.914	14150.581	13531.468	14150.571	13518.298	83.5
84.5	13924.816	13291.914	14163.585	13544.536	14163.573	13531.230	84.5
85.5	13938.033	13305.067	14176.744	13557.785	14176.731	13544.325	85.5
86.5	13951.402	13318.373	14190.055	13571.187	14190.042	13557.571	86.5
87.5	13964.925	13331.831	14203.511	13584.741	14203.504	13570.970	87.5
88.5	13978.599	13345.442	14217.131	13598.447	14217.117	13584.520	88.5
89.5	13992.427	13359.206	14230.897	13612.303	14230.883	13599.222	89.5
90.5	14006.410	13373.123	14244.814	13626.315	14244.801	13614.068	90.5
91.5	14020.538	13387.191	14258.884	13640.475	14258.869	13629.083	91.5
92.5	14034.822	13401.412	14273.105	13654.788	14273.089	13644.241	92.5
93.5	14049.258	13415.786	14287.478	13669.252	14287.461	13659.550	93.5
94.5	14063.846	13430.311	14302.001	13683.868	14301.984	13675.011	94.5
95.5	14078.586	13444.989	14316.676	13698.636	14316.659	13690.623	95.5
96.5	14093.478	13459.819	14331.522	13713.554	14331.534	13706.387	96.5
97.5	14108.520	13474.810	14346.540	13728.625	14346.541	13722.300	97.5
98.5	14123.718	13489.935	14361.608	13743.846	14361.589	13738.369	98.5

165.5	15482.855	14845.271	15714.687	15103.319	15714.598	15077.599	165.5
166.5	15508.151	14870.512	15739.869	15128.596	15739.779	15102.725	166.5
167.5	15533.592	14895.898	15765.196	15154.017	15765.101	15127.996	167.5
168.5	15559.177	14921.428	15790.666	15179.581	15790.573	15153.410	168.5
169.5	15584.907	14947.103	15816.280	15205.290	15816.186	15179.968	169.5
170.5	15610.782	14972.823	15842.043	15231.141	15842.042	15205.139	170.5
171.5	15636.800	14998.485	15867.940	15257.136	15867.842	15230.514	171.5
172.5	15662.963	15024.993	15893.985	15283.274	15893.885	15256.502	172.5
173.5	15689.270	15051.244	15920.173	15309.556	15920.072	15282.633	173.5
174.5	15715.721	15077.638	15946.505	15335.990	15946.402	15308.907	174.5
175.5	15742.315	15104.177	15972.979	15362.547	15972.874	15332.234	175.5
176.5	15769.053	15130.858	15999.596	15389.256	15999.490	15361.884	176.5
177.5	15795.935	15157.681	16026.357	15416.108	16026.256	15392.586	177.5
178.5	15822.959	15184.651	16053.259	15443.103	16053.149	15415.431	178.5
179.5	15850.127	15211.762	16080.305	15470.239	16080.193	15442.418	179.5

		0	1	2			
0.5	12007.095	12007.415	12260.953	12261.272	12513.151	12513.469	0.5
1.5	12007.177	12007.918	12261.034	12261.673	12513.232	12513.868	1.5
2.5	12007.420	12008.381	12261.276	12262.234	12513.473	12514.427	2.5
3.5	12007.824	12009.106	12261.679	12262.956	12513.874	12515.146	3.5
4.5	12008.309	12009.992	12262.242	12263.839	12514.434	12516.025	4.5
5.5	12009.118	12011.040	12262.966	12264.882	12515.155	12517.064	5.5
6.5	12010.006	12012.249	12263.851	12266.056	12516.035	12518.262	6.5
7.5	12011.056	12013.620	12264.896	12267.450	12517.076	12519.621	7.5
8.5	12012.268	12015.151	12266.102	12269.078	12518.166	12521.139	8.5
9.5	12013.640	12016.845	12267.468	12270.941	12519.366	12522.817	9.5
10.5	12015.175	12018.699	12268.995	12272.927	12520.712	12524.656	10.5
11.5	12016.870	12020.715	12270.683	12274.514	12522.396	12526.654	11.5
12.5	12018.727	12022.892	12272.531	12276.682	12524.676	12528.812	12.5
13.5	12020.745	12025.230	12274.540	12279.010	12526.876	12531.130	13.5
14.5	12022.924	12027.730	12276.710	12281.498	12529.305	12533.607	14.5
15.5	12025.265	12030.391	12279.040	12284.148	12531.955	12536.245	15.5
16.5	12027.766	12033.213	12281.530	12286.957	12534.834	12539.042	16.5
17.5	12030.430	12036.196	12284.181	12289.928	12537.923	12541.999	17.5
18.5	12033.254	12039.341	12286.993	12293.050	12541.227	12545.118	18.5
19.5	12036.240	12042.647	12289.965	12296.350	12544.731	12548.393	19.5
20.5	12039.386	12046.114	12293.098	12299.801	12548.450	12551.829	20.5
21.5	12042.695	12049.742	12296.391	12303.414	12552.389	12555.426	21.5
22.5	12046.184	12053.531	12299.845	12307.106	12556.666	12559.182	22.5
23.5	12049.794	12057.482	12303.459	12311.119	12561.166	12563.099	23.5
24.5	12053.548	12061.596	12307.233	12315.215	12565.921	12567.173	24.5
25.5	12057.539	12065.867	12311.168	12319.467	12570.939	12571.408	25.5
26.5	12061.653	12070.301	12315.264	12323.881	12576.216	12575.803	26.5
27.5	12065.927	12074.896	12319.520	12328.456	12581.754	12580.357	27.5
28.5	12070.364	12079.652	12323.936	12333.191	12587.548	12585.071	28.5
29.5	12074.964	12084.569	12328.512	12338.086	12593.600	12589.945	29.5
30.5	12079.719	12089.642	12333.245	12343.144	12599.926	12594.970	30.5
31.5	12084.638	12094.874	12338.036	12348.367	12606.527	12600.170	31.5
32.5	12089.718	12100.266	12343.20				

0	1	2
113.5 13032.153 13068.421 13281.399 13317.538 13528.993 13565.003 113.5		
114.5 13050.278 13086.860 13299.443 13335.894 13546.955 13583.276 114.5		
115.5 13068.560 13105.455 13317.642 13354.405 13565.071 13601.703 115.5		
116.5 13086.996 13124.925 13335.971 13372.071 13583.343 13620.283 116.5		
117.5 13105.591 13143.113 13354.506 13391.893 13601.768 13639.022 117.5		
118.5 13124.341 13162.176 13373.171 13410.070 13620.349 13657.913 118.5		
119.5 13143.247 13181.394 13391.991 13430.002 13639.084 13676.959 119.5		
120.5 13162.309 13200.769 13410.966 13449.289 13657.973 13696.158 120.5		
121.5 13181.526 13220.298 13430.097 13468.731 13677.016 13715.512 121.5		
122.5 13200.899 13239.984 13449.382 13488.327 13696.214 13735.020 122.5		
123.5 13220.438 13260.925 13469.922 13508.078 13715.566 13754.681 123.5		
124.5 13240.111 13279.821 13488.417 13527.984 13735.071 13774.971 124.5		
125.5 13259.951 13299.972 13508.166 13548.404 13754.331 13794.466 125.5		
126.5 13279.945 13320.279 13528.070 13568.259 13774.544 13814.589 126.5		
127.5 13300.095 13340.740 13548.128 13588.628 13794.511 13834.866 127.5		
128.5 13320.399 13361.356 13568.340 13609.155 13814.632 13855.296 128.5		
129.5 13340.859 13382.127 13588.707 13629.028 13834.906 13875.879 129.5		
130.5 13361.473 13403.053 13609.228 13658.659 13855.333 13896.616 130.5		
131.5 13382.242 13424.133 13629.903 13679.444 13875.914 13917.505 131.5		
132.5 13403.166 13445.368 13650.732 13699.783 13896.648 13938.548 132.5		
133.5 13424.244 13466.757 13671.714 13714.075 13917.535 13959.744 133.5		
134.5 13445.477 13488.301 13692.850 13735.521 13938.575 13981.092 134.5		
135.5 13466.864 13509.999 13714.140 13757.120 13959.767 14002.593 135.5		
136.5 13488.405 13531.850 13735.583 13778.873 13981.113 14024.247 136.5		
137.5 13510.101 13553.856 13757.180 13800.779 14002.611 14046.053 137.5		
138.5 13531.969 13576.925 13778.996 13822.838 14024.262 14068.012 138.5		
139.5 13553.953 13599.329 13800.833 13849.053 14046.053 14090.153 139.5		
140.5 13576.110 13620.795 13822.889 13867.414 14068.020 14112.386 140.5		
141.5 13598.421 13643.416 13845.099 13889.932 14090.128 14134.801 141.5		
142.5 13620.885 13666.190 13867.460 13912.602 14112.388 14157.368 142.5		
143.5 13643.502 13689.117 13889.975 13935.425 14134.799 14180.807 143.5		
144.5 13666.273 13712.197 13912.642 13958.401 14157.368 14202.957 144.5		
145.5 13689.197 13735.430 13935.461 13981.528 14180.807 14225.980 145.5		
146.5 13712.274 13758.916 13958.433 14004.808 14202.945 14249.153 146.5		
147.5 13735.505 13782.355 13981.558 14028.240 14225.964 14272.478 147.5		
148.5 13758.888 13806.047 14004.834 14051.824 14249.134 14295.954 148.5		
149.5 13782.423 13829.891 14028.262 14075.559 14272.455 14319.582 149.5		
150.5 13806.112 13853.888 14051.843 14099.447 14295.927 14343.360 150.5		
151.5 13829.953 13878.037 14075.575 14122.486 14319.551 14367.289 151.5		
152.5 13853.946 13902.338 14099.458 14147.677 14343.325 14391.370 152.5		
153.5 13878.791 13926.471 14123.493 14172.018 14367.250 14415.600 153.5		
154.5 13902.989 13951.927 14147.889 14200.941 14391.370 14440.185 154.5		
155.5 13926.839 13976.154 14172.018 14225.156 14415.552 14464.513 155.5		
156.5 13951.440 14001.063 14196.507 14248.951 14439.929 14489.195 156.5		
157.5 13976.194 14026.123 14221.147 14270.997 14464.456 14514.027 157.5		
158.5 14001.099 14051.335 14245.938 14295.994 14489.133 14539.009 158.5		
159.5 14026.155 14076.699 14270.880 14321.242 14513.961 14564.141 159.5		
160.5 14051.363 14102.213 14295.973 14346.640 14539.938 14589.422 160.5		
161.5 14076.661 14128.181 14321.262 14372.188 14564.065 14614.855 161.5		
162.5 14102.233 14153.695 14346.609 14397.867 14589.342 14640.434 162.5		
163.5 14127.894 14179.663 14372.153 14423.735 14614.768 14666.165 163.5		
164.5 14153.706 14205.781 14397.947 14449.734 14640.344 14692.044 164.5		
165.5 14179.669 14232.050 14423.691 14475.883 14666.069 14718.072 165.5		
166.5 14205.783 14258.466 14449.685 14502.181 14691.943 14744.250 166.5		
167.5 14232.047 14285.038 14475.828 14528.629 14717.967 14770.576 167.5		
168.5 14258.461 14312.757 14502.121 14555.226 14744.139 14797.951 168.5		
169.5 14285.038 14340.529 14528.546 14581.971 14769.660 14823.315 169.5		
170.5 14311.741 14365.647 14555.156 14608.868 14796.929 14850.447 170.5		
171.5 14338.606 14392.817 14581.897 14635.913 14823.547 14877.367 171.5		
172.5 14365.620 14420.136 14608.788 14663.106 14850.314 14904.436 172.5		
173.5 14392.784 14447.604 14635.827 14690.449 14877.228 14931.652 173.5		
174.5 14420.098 14475.222 14663.015 14717.940 14904.291 14959.017 174.5		
175.5 14447.561 14502.981 14690.352 14745.579 14931.501 14996.259 175.5		
176.5 14475.174 14532.905 14717.501 14782.960 14959.366 15033.519 176.5		
177.5 14502.935 14568.970 14745.471 14801.303 14986.366 15041.996 177.5		
178.5 14530.846 14587.184 14773.253 14829.387 15014.019 15069.950 178.5		

61.5 13059.507 13079.121 13307.071 13326.615 13553.002 13572.476 61.5		
62.5 13069.269 13089.198 13316.788 13336.647 13562.672 13582.463 62.5		
63.5 13079.189 13099.423 13326.615 13346.835 13572.506 13592.605 63.5		
64.5 13089.266 13109.825 13336.695 13357.180 13582.592 13602.904 64.5		
65.5 13099.583 13120.574 13346.804 13367.583 13592.838 13613.359 65.5		
66.5 13109.893 13131.082 13357.229 13378.246 13603.933 13623.970 66.5		
67.5 13120.443 13141.946 13367.731 13389.157 13615.362 13634.737 67.5		
68.5 13131.151 13152.968 13378.390 13400.130 13623.998 13645.600 68.5		
69.5 13142.015 13164.147 13389.206 13411.259 13634.764 13656.738 69.5		
70.5 13153.038 13175.484 13400.170 13422.544 13645.687 13667.973 70.5		
71.5 13164.217 13186.978 13411.307 13433.986 13656.765 13679.363 71.5		
72.5 13175.554 13198.629 13422.592 13445.585 13667.989 13690.909 72.5		
73.5 13187.048 13210.437 13434.034 13457.340 13679.389 13702.611 73.5		
74.5 13198.698 13222.402 13445.632 13469.251 13690.935 13714.469 74.5		
75.5 13210.506 13234.524 13457.387 13481.310 13702.636 13726.482 75.5		
76.5 13222.472 13246.803 13469.298 13493.542 13714.492 13738.650 76.5		
77.5 13234.594 13259.239 13481.365 13505.822 13726.505 13750.974 77.5		
78.5 13246.872 13271.831 13493.588 13518.458 13738.672 13763.453 78.5		
79.5 13259.308 13284.581 13505.967 13531.150 13750.996 13776.088 79.5		
80.5 13271.901 13297.487 13518.503 13543.993 13763.474 13788.877 80.5		
81.5 13284.650 13310.549 13531.194 13557.001 13776.108 13801.822 81.5		
82.5 13297.555 13323.769 13544.041 13570.161 13788.897 13814.922 82.5		
83.5 13310.618 13337.144 13557.044 13583.476 13801.841 13828.178 83.5		
84.5 13323.837 13350.677 13570.203 13596.947 13814.940 13841.588 84.5		
85.5 13337.212 13364.365 13583.518 13610.574 13828.194 13855.153 85.5		
86.5 13350.744 13378.210 13596.988 13624.356 13841.603 13868.873 86.5		
87.5 13364.432 13392.211 13610.614 13638.294 13855.167 13882.747 87.5		
88.5 13378.278 13406.367 13624.387 13656.388 13868.799 13896.877 88.5		
89.5 13392.276 13420.681 13638.333 13666.636 13882.759 13910.961 89.5		
90.5 13406.433 13435.150 13652.425 13681.039 13896.787 13925.299 90.5		
91.5 13420.745 13449.775 13666.672 13695.598 13910.970 13939.792 91.5		
92.5 13435.214 13464.556 13681.075 13710.313 13925.307 13954.440 92.5		
93.5 13449.838 13479.493 13695.633 13725.182 13939.799 13969.242 93.5		
94.5 13464.618 13494.586 13710.346 13740.206 13954.445 13984.198 94.5		
95.5 13479.554 13509.834 13725.214 13755.385 13969.245 13999.308 95.5		
96.5 13494.646 13525.239 13740.237 13770.719 13984.200 14014.572 96.5		
97.5 13509.893 13540.797 13755.415 13786.208 13999.309 14029.991 97.5		
98.5 13525.296 13556.511 13770.748 13801.852 14014.572 14045.563 98.5		
99.5 13540.854 13572.381 13786.235 13817.625 14029.988 14061.290 99.5		
100.5 13556.568 13588.407 13801.878 13833.602 14045.589 14077.170 100.5		
101.5 13572.436 13604.587 13817.674 13849.709 14061.284 14093.204 101.5		
102.5 13588.460 13620.922 13833.625 13865.971 14077.162 14109.392 102.5		
103.5 13604.652 13638.419 13849.731 13882.388 14093.218 14125.643 103.5		
104.5 13620.974 13654.508 13865.995 13898.957 14109.380 14142.227 104.5		
105.5 13637.463 13670.858 13882.405 13915.681 14125.719 14158.875 105.5		
106.5 13654.107 13687.813 13898.973 13932.559 14142.212 14175.677 106.5		
107.5 13670.906 13704.923 13915.695 13949.591 14158.858 14192.633 107.5		
108.5 13687.859 13722.187 13932.572 13966.777 14175.657 14209.739 108.5		
109.5 13704.967 13739.606 13949.602 13984.117 14192.610 14227.000 109.5		
110.5 13722.239 13764.831 13966.681 14000.651 14209.613 14244.444 110.5		
111.5 13739.647 13777.907 13984.124 14010.257 14226.974 14261.981 111.5		
112.5 13757.210 13792.789 14001.615 14037.058 14244.385 14279.700 112.5		
113.5 13774.944 13810.825 14019.260 14055.112 14261.949 14297.572 113.5		
114.5 13792.824 13829.015 14037.059 14073.119 14279.667 14315.597 114.5		
115.5 13810.858 13847.359 14055.010 14091.380 14297.536 14333.775 115.5		
116.5 13829.046 13865.857 14073.115 14109.794 14315.559 14352.105 116.5		
117.5 13847.388 13884.508 14091.374 14128.200 14333.733 14370.587 117.5		
118.5 13865.884 13903.314 14109.848 14147.088 14352.961 14388.291 118.5		
119.5 13884.534 13922.273 14128.350 14165.955 14370.540 14408.008 119.5		
120.5 13903.337 13941.385 14147.067 14184.978 14389.172 14426.947 120.5		
121.5 13922.294 13960.651 14165.937 14204.157 14407.955 14446.303 121.5		
122.5 13941.404 13980.070 14184.960 14223.487 14426.891 14465.280 122.5		
123.5 13960.667 13999.643 14204.135 14242.971 14445.979 14484.674 123.5		
124.5 13980.084 14019.368 14223.463 14262.606 14465.218 14504.220 124.5		
125.5 13999.584 14039.247 14242.394 14280.388 14484.952 14523.919 125.5		
126.5 14019.377 14059.278 14262.577 14302.335 14504.152 14543.767 126.5		

179.5 14558.905 14615.546 14801.183 14857.619 15041.820 15098.052 179.5			
0	3	4	5
0.5 12763.698 12764.015 13012.602 13012.917 13259.870 13260.185 0.5			
1.5 12763.712 12763.681 13013.313 13013.313 13259.949 13260.579 1.5			
2.5 12764.018 12764.969 13012.920 13013.867 13260.186 13261.131 2.5			
3.5 12764.417 12765.685 13013.316 13014.590 13260.581 13261.840 3.5			
4.5 12764.975 12766.560 13013.872 13015.451 13261.134 13262.708 4.5			
5.5 12765.692 12767.594 13014.586 13016.481 13261.844 13263.733 5.5			
6.5 12766.568 12768.787 13015.458 13017.669 13262.613 13264.916 6.5			

9.5	13511.075	13515.012	13755.868	13758.999	13998.251	14001.364	9.5
10.5	13513.368	13516.818	13757.534	13760.791	13999.729	14003.154	10.5
11.5	13515.017	13518.781	13758.999	13762.745	14001.363	14005.100	11.5
12.5	13516.823	13520.900	13760.793	13764.856	14003.153	14007.201	12.5
13.5	13518.787	13523.177	13762.748	13767.123	14005.099	14009.458	13.5
14.5	13520.907	13525.611	13764.859	13769.546	14007.199	14011.870	14.5
15.5	13523.184	13528.199	13767.123	13772.032	14009.459	14014.343	15.5
16.5	13525.619	13530.950	13769.549	13774.661	14011.866	14017.161	16.5
17.5	13528.211	13533.855	13772.128	13777.753	14014.436	14020.040	17.5
18.5	13530.959	13536.917	13774.864	13780.001	14017.155	14023.074	18.5
19.5	13533.864	13540.136	13777.756	13784.005	14020.038	14026.264	19.5
20.5	13536.927	13543.512	13780.004	13787.366	14023.072	14029.610	20.5
21.5	13540.146	13547.044	13784.009	13791.082	14026.262	14033.111	21.5
22.5	13543.531	13550.738	13787.758	13794.555	14029.609	14036.759	22.5
23.5	13547.055	13554.580	13791.086	13798.384	14033.100	14040.579	23.5
24.5	13550.744	13558.583	13794.559	13802.370	14036.764	14044.546	24.5
25.5	13554.591	13562.743	13798.388	13806.511	14040.575	14048.669	25.5
26.5	13558.595	13567.060	13802.373	13810.808	14044.542	14052.947	26.5
27.5	13562.755	13571.533	13806.515	13815.262	14048.665	14057.390	27.5
28.5	13567.072	13576.164	13810.812	13819.871	14052.942	14061.969	28.5
29.5	13571.546	13580.951	13815.265	13824.637	14057.379	14066.713	29.5
30.5	13576.176	13585.894	13819.875	13829.568	14062.304	14071.616	30.5
31.5	13580.964	13590.995	13824.640	13834.635	14067.307	14076.667	31.5
32.5	13585.908	13596.252	13829.566	13839.869	14072.606	14081.876	32.5
33.5	13591.008	13601.666	13834.639	13845.258	14078.161	14087.241	33.5
34.5	13596.266	13607.236	13839.873	13850.803	14083.870	14092.761	34.5
35.5	13601.680	13613.063	13845.262	13856.505	14089.635	14098.437	35.5
36.5	13607.250	13619.146	13850.807	13862.361	14095.554	14104.267	36.5
37.5	13613.064	13625.483	13856.509	13868.373	14101.628	14110.259	37.5
38.5	13618.861	13632.065	13862.365	13874.543	14107.954	14116.394	38.5
39.5	13624.901	13637.436	13868.377	13880.867	14114.244	14122.689	39.5
40.5	13631.097	13643.495	13874.546	13887.347	14120.384	14129.140	40.5
41.5	13637.450	13650.611	13880.907	13893.983	14126.600	14135.746	41.5
42.5	13643.960	13657.833	13887.349	13900.774	14132.930	14142.506	42.5
43.5	13650.626	13664.411	13893.985	13907.721	14139.375	14149.422	43.5
44.5	13657.448	13671.546	13900.776	13914.824	14145.935	14156.492	44.5
45.5	13664.426	13678.837	13907.723	13922.082	14152.610	14163.717	45.5
46.5	13671.561	13686.284	13914.825	13929.495	14159.404	14171.097	46.5
47.5	13678.852	13693.888	13922.083	13937.064	14166.314	14178.632	47.5
48.5	13686.299	13701.647	13929.496	13944.789	14173.084	14186.322	48.5
49.5	13693.902	13709.563	13937.065	13952.669	14179.618	14194.166	49.5
50.5	13701.662	13717.635	13944.789	13960.704	14186.307	14202.165	50.5
51.5	13709.577	13725.863	13952.668	13968.995	14194.150	14210.318	51.5
52.5	13717.649	13734.246	13960.703	13977.421	14202.148	14218.626	52.5
53.5	13725.877	13742.786	13968.993	13985.742	14210.301	14227.089	53.5
54.5	13734.260	13751.482	13977.426	13994.398	14218.608	14235.706	54.5
55.5	13742.800	13760.333	13985.739	14003.210	14227.070	14244.478	55.5
56.5	13751.495	13769.341	13994.395	14012.176	14235.686	14253.404	56.5
57.5	13760.346	13778.504	14003.206	14021.298	14244.457	14262.484	57.5
58.5	13769.353	13787.823	14012.172	14030.574	14253.382	14271.718	58.5
59.5	13778.519	13797.246	14020.503	14039.999	14262.468	14281.118	59.5
60.5	13787.835	13806.827	14030.569	14049.593	14271.695	14290.650	60.5
61.5	13797.309	13816.713	14040.999	14059.324	14281.062	14300.347	61.5
62.5	13806.938	13826.654	14049.585	14069.230	14290.624	14310.199	62.5
63.5	13816.724	13836.751	14059.326	14079.281	14300.621	14320.204	63.5
64.5	13826.664	13847.003	14069.221	14089.487	14310.171	14330.364	64.5
65.5	13836.761	13857.411	14079.272	14099.848	14320.175	14340.677	65.5
66.5	13847.007	13867.978	14089.487	14110.363	14330.324	14351.142	66.5
67.5	13857.419	13878.692	14099.836	14121.032	14340.646	14361.766	67.5
68.5	13867.982	13889.566	14110.350	14131.857	14351.112	14372.540	68.5
69.5	13878.699	13900.594	14121.019	14142.835	14361.731	14383.469	69.5
70.5	13889.572	13911.778	14131.842	14153.968	14372.505	14394.552	70.5
71.5	13900.600	13923.117	14142.820	14165.256	14383.432	14405.788	71.5
72.5	13911.793	13934.611	14153.952	14176.694	14394.513	14417.177	72.5
73.5	13923.145	13946.260	14165.281	14188.285	14405.746	14428.721	73.5
74.5	13934.614	13958.063	14176.678	14200.044	14417.136	14440.417	74.5

141.5	15053.944	15059.975	15290.865	15334.736	15526.191	15569.901	141.5
142.5	15075.799	15120.131	15312.619	15356.790	15547.842	15591.853	142.5
143.5	15097.800	15142.436	15334.518	15378.991	15569.640	15613.952	143.5
144.5	15119.951	15164.889	15356.567	15401.341	15591.587	15636.198	144.5
145.5	15142.251	15187.492	15378.763	15423.839	15613.680	15658.592	145.5
146.5	15164.700	15210.243	15401.108	15446.485	15635.921	15681.133	146.5
147.5	15187.300	15236.142	15423.832	15469.289	15658.309	15703.811	147.5
148.5	15210.043	15265.190	15446.241	15492.220	15680.845	15726.655	148.5
149.5	15232.937	15279.386	15469.029	15515.309	15703.527	15749.637	149.5
150.5	15255.980	15302.730	15491.965	15538.545	15726.356	15772.765	150.5
151.5	15279.171	15326.222	15515.048	15561.928	15749.322	15796.040	151.5
152.5	15302.510	15349.862	15538.279	15585.450	15772.454	15819.461	152.5
153.5	15325.996	15373.650	15561.656	15609.136	15795.723	15843.029	153.5
154.5	15349.729	15397.582	15585.681	15632.960	15819.309	15866.822	154.5
155.5	15373.713	15421.668	15608.853	15656.931	15843.699	15890.602	155.5
156.5	15397.343	15445.898	15632.671	15681.049	15866.407	15914.608	156.5
157.5	15421.420	15470.275	15656.636	15705.314	15890.260	15938.759	157.5
158.5	15445.644	15494.800	15680.748	15729.724	15914.259	15963.056	158.5
159.5	15470.016	15519.471	15705.006	15754.281	15938.404	15987.499	159.5
160.5	15494.534	15544.290	15729.411	15778.984	15962.695	16012.087	160.5
161.5	15519.200	15579.255	15753.961	15803.833	15987.131	16036.821	161.5
162.5	15544.022	15594.366	15778.658	15829.828	16012.312	16061.699	162.5
163.5	15568.971	15619.625	15803.501	15853.969	16036.439	16086.723	163.5
164.5	15594.076	15645.029	15828.489	15879.256	16061.311	16111.891	164.5
165.5	15619.328	15670.580	15853.623	15904.667	16086.327	16137.204	165.5
166.5	15644.726	15696.277	15878.903	15930.265	16111.489	16162.662	166.5
167.5	15670.271	15722.119	15904.328	15955.987	16136.795	16188.265	167.5
168.5	15695.961	15748.108	15929.898	15981.854	16162.245	16214.011	168.5
169.5	15721.819	15774.242	15955.613	16007.862	16187.361	16239.922	169.5
170.5	15747.778	15800.522	15981.474	16034.024	16213.580	16265.937	170.5
171.5	15773.906	15826.947	16007.479	16060.326	16239.463	16292.116	171.5
172.5	15800.179	15853.517	16033.629	16086.772	16265.491	16318.379	172.5
173.5	15826.597	15880.233	16059.924	16113.366	16291.662	16344.905	173.5
174.5	15853.160	15907.093	16086.363	16140.098	16317.977	16371.515	174.5
175.5	15879.868	15934.098	16112.946	16166.977	16344.435	16398.288	175.5
176.5	15906.721	15961.248	16139.677	16194.000	16371.031	16425.156	176.5
177.5	15933.719	15988.543	16166.545	16221.167	16397.783	16452.205	177.5
178.5	15960.861	16015.981	16193.560	16248.478	16424.671	16479.387	178.5
179.5	15988.148	16043.565	16220.719	16275.932	16451.703	16506.713	179.5

0.5	14232.757	14233.067	14471.973	14472.282	14709.603	14709.911	0.5
1.5	14232.834	14233.455	14472.050	14472.668	14709.679	14710.295	1.5
2.5	14233.067	14233.998	14472.281	14473.208	14709.909	14710.833	2.5
3.5	14233.454	14234.695	14472.666	14473.703	14710.292	14711.524	3.5
4.5	14233.996	14235.547	14473.206	14474.751	14710.829	14712.369	4.5
5.5	14234.693	14236.555	14473.899	14475.754	14711.520	14713.368	5.5
6.5	14235.545	14237.717	14474.747	14476.911	14712.363	14714.520	6.5
7.5	14236.519	14239.242	14475.750	14478.222	14713.361	14715.732	7.5
8.5	14237.714	14240.506	14476.9				

89.5	14844.334	14872.131	15080.736	15108.432	15315.558	15343.153	89.5
90.5	14858.107	14886.209	15094.446	15122.446	15329.204	15357.103	90.5
91.5	14872.032	14900.440	15108.306	15136.611	15343.000	15379.203	91.5
92.5	14886.108	14914.824	15122.317	15150.927	15358.944	15393.403	92.5
93.5	14900.336	14929.355	15136.400	15165.394	15371.044	15399.853	93.5
94.5	14914.715	14944.040	15150.793	15180.011	15385.291	15414.403	94.5
95.5	14929.246	14958.877	15165.257	15194.780	15399.688	15429.103	95.5
96.5	14943.928	14973.864	15179.871	15209.698	15414.235	15443.953	96.5
97.5	14958.762	14989.003	15194.636	15224.767	15428.931	15458.953	97.5
98.5	14973.747	15004.293	15209.552	15239.887	15443.778	15474.102	98.5
99.5	14988.959	15019.824	15224.616	15254.957	15458.944	15489.401	99.5
100.5	15004.304	15035.326	15239.834	15270.077	15474.920	15504.850	100.5
101.5	15019.607	15051.068	15255.201	15286.547	15489.216	15520.448	101.5
102.5	15035.196	15066.962	15270.718	15302.368	15504.661	15536.195	102.5
103.5	15050.936	15083.006	15286.385	15318.338	15520.255	15552.092	103.5
104.5	15066.826	15099.201	15302.202	15334.459	15535.999	15568.138	104.5
105.5	15082.868	15115.547	15318.169	15350.729	15551.892	15584.333	105.5
106.5	15099.059	15132.043	15334.286	15367.149	15567.934	15600.677	106.5
107.5	15115.401	15148.689	15350.552	15383.718	15584.125	15617.170	107.5
108.5	15131.894	15165.485	15366.968	15400.308	15600.465	15633.812	108.5
109.5	15148.537	15182.432	15383.534	15417.306	15616.954	15650.603	109.5
110.5	15165.330	15199.529	15400.250	15434.324	15633.592	15667.543	110.5
111.5	15182.273	15216.776	15417.115	15451.492	15650.379	15684.631	111.5
112.5	15199.367	15234.173	15434.129	15468.808	15667.314	15701.867	112.5
113.5	15216.610	15251.720	15451.292	15486.274	15684.398	15719.252	113.5
114.5	15234.009	15269.415	15468.505	15503.885	15701.630	15736.786	114.5
115.5	15251.546	15287.762	15486.067	15521.653	15719.114	15754.463	115.5
116.5	15269.239	15305.258	15503.678	15539.566	15736.540	15772.297	116.5
117.5	15287.081	15323.403	15521.437	15557.627	15754.217	15790.275	117.5
118.5	15305.073	15341.698	15539.346	15575.837	15772.043	15808.400	118.5
119.5	15323.215	15360.142	15557.403	15594.196	15790.016	15826.674	119.5
120.5	15341.505	15378.735	15575.609	15612.703	15808.137	15845.096	120.5
121.5	15359.945	15397.477	15593.963	15631.359	15826.406	15863.665	121.5
122.5	15378.534	15416.369	15612.466	15650.142	15844.423	15882.382	122.5
123.5	15397.272	15435.409	15631.117	15669.155	15863.387	15901.246	123.5
124.5	15416.159	15454.598	15649.916	15688.215	15882.099	15920.257	124.5
125.5	15435.195	15473.936	15668.864	15707.463	15900.958	15939.416	125.5
126.5	15454.380	15493.427	15687.959	15726.659	15919.965	15958.722	126.5
127.5	15473.713	15513.057	15707.203	15746.403	15939.118	15978.175	127.5
128.5	15493.195	15532.840	15726.594	15766.094	15958.419	15997.775	128.5
129.5	15512.825	15552.771	15746.133	15785.938	15977.967	16017.522	129.5
130.5	15532.603	15572.801	15765.320	15805.920	15997.170	16037.414	130.5
131.5	15552.530	15593.079	15785.564	15826.054	16017.204	16057.456	131.5
132.5	15572.605	15613.455	15805.635	15846.336	16037.092	16077.643	132.5
133.5	15592.828	15633.978	15825.764	15866.764	16057.127	16097.977	133.5
134.5	15613.199	15654.650	15846.040	15887.340	16077.309	16118.457	134.5
135.5	15633.718	15675.469	15866.463	15908.062	16097.636	16139.083	135.5
136.5	15654.384	15696.436	15887.034	15928.931	16118.111	16159.855	136.5
137.5	15675.204	15718.359	15908.041	15949.950	16138.373	16179.773	137.5
138.5	15696.159	15738.811	15928.614	15971.110	16159.497	16201.847	138.5
139.5	15717.268	15760.220	15949.625	15992.419	16180.410	16223.041	139.5
140.5	15738.525	15781.776	15970.782	16013.475	16201.468	16244.403	140.5
141.5	15759.928	15803.479	15992.085	16035.477	16222.672	16265.904	141.5
142.5	15781.478	15825.328	16013.535	16057.225	16244.021	16287.551	142.5
143.5	15803.175	15847.365	16035.131	16079.119	16265.516	16309.343	143.5
144.5	15825.020	15869.468	16057.873	16101.253	16287.151	16331.280	144.5
145.5	15847.010	15892.856	16076.762	16123.629	16308.942	16353.367	145.5
146.5	15869.148	15914.194	16100.796	16146.457	16330.873	16375.589	146.5
147.5	15891.432	15936.776	16122.975	16169.544	16352.949	16397.962	147.5
148.5	15913.862	15959.505	16145.301	16190.777	16375.170	16420.479	148.5
149.5	15936.438	15982.380	16167.772	16213.545	16397.536	16443.140	149.5
150.5	15959.161	16005.400	16190.388	16236.458	16420.046	16465.946	150.5
151.5	15982.029	16028.567	16213.150	16259.516	16442.701	16488.897	151.5
152.5	16005.044	16056.789	16236.458	16282.705	16465.092	16511.922	152.5
153.5	16028.204	16075.337	16259.106	16306.068	16488.444	16535.231	153.5
154.5	16051.510	16098.940	16282.305	16329.561	16511.531	16558.614	154.5

37.5	15050.182	15061.835	15284.177	15295.798	15516.611	15528.180	37.5
38.5	15055.905	15067.865	15289.874	15301.790	15522.282	15534.155	38.5
39.5	15061.781	15074.047	15295.723	15307.944	15528.104	15540.280	39.5
40.5	15067.707	15080.867	15301.635	15314.249	15534.076	15546.456	40.5
41.5	15073.989	15086.847	15307.385	15320.700	15539.924	15552.680	41.5
42.5	15080.322	15093.506	15314.178	15327.313	15545.827	15559.961	42.5
43.5	15086.806	15100.296	15320.632	15334.073	15551.897	15566.289	43.5
44.5	15093.443	15107.238	15327.238	15340.983	15558.073	15573.668	44.5
45.5	15100.232	15114.333	15333.995	15348.045	15564.466	15581.199	45.5
46.5	15107.172	15121.579	15340.904	15355.259	15571.075	15587.977	46.5
47.5	15114.265	15128.978	15347.964	15362.623	15578.102	15594.708	47.5
48.5	15121.510	15136.528	15355.175	15370.379	15584.800	15601.489	48.5
49.5	15128.906	15144.230	15362.537	15377.806	15591.608	15608.217	49.5
50.5	15136.454	15152.084	15370.051	15385.623	15598.007	15614.903	50.5
51.5	15144.155	15160.090	15377.715	15393.593	15604.716	15621.535	51.5
52.5	15152.007	15168.247	15385.531	15401.713	15611.479	15628.116	52.5
53.5	15160.011	15176.557	15393.498	15409.984	15618.205	15634.651	53.5
54.5	15168.166	15185.018	15401.616	15418.406	15624.995	15641.140	54.5
55.5	15176.473	15193.630	15409.884	15426.979	15631.736	15647.585	55.5
56.5	15184.932	15202.394	15418.304	15435.702	15638.430	15653.981	56.5
57.5	15193.542	15211.310	15426.875	15444.577	15645.086	15660.336	57.5
58.5	15202.304	15220.377	15435.596	15453.600	15651.702	15666.649	58.5
59.5	15211.218	15229.595	15444.468	15462.779	15658.279	15672.918	59.5
60.5	15220.283	15238.965	15453.491	15472.105	15664.814	15679.146	60.5
61.5	15229.499	15248.486	15462.665	15481.589	15671.309	15685.324	61.5
62.5	15238.867	15258.159	15471.989	15491.211	15677.764	15691.452	62.5
63.5	15248.386	15267.983	15481.623	15500.879	15684.180	15697.531	63.5
64.5	15258.056	15277.957	15491.089	15510.591	15690.972	15703.560	64.5
65.5	15267.877	15288.084	15500.665	15520.398	15697.824	15709.549	65.5
66.5	15277.850	15298.361	15510.792	15530.328	15704.745	15715.498	66.5
67.5	15287.974	15308.789	15520.866	15540.368	15711.720	15721.407	67.5
68.5	15298.249	15319.368	15531.096	15550.518	15718.764	15727.376	68.5
69.5	15308.674	15330.098	15541.473	15560.771	15725.873	15733.401	69.5
70.5	15319.251	15340.979	15551.901	15571.128	15733.036	15739.480	70.5
71.5	15329.981	15352.011	15563.383	15581.591	15740.264	15745.519	71.5
72.5	15340.856	15363.193	15573.506	15592.172	15747.660	15751.618	72.5
73.5	15351.885	15374.526	15584.484	15602.867	15754.673	15757.677	73.5
74.5	15363.065	15386.010	15595.613	15613.684	15762.300	15763.693	74.5
75.5	15374.396	15397.645	15606.891	15624.128	15769.547	15769.940	75.5
76.5	15385.877	15409.430	15618.318	15634.201	15776.403	15775.283	76.5
77.5	15397.509	15421.365	15629.896	15644.905	15782.876	15783.660	77.5
78.5	15409.292	15433.450	15641.633	15656.248	15789.964	15790.749	78.5
79.5	15421.223	15445.687	15653.501	15667.775	15796.661	15797.140	79.5
80.5	15433.306	15458.073	15665.528	15679.204	15803.064	15803.618	80.5
81.5	15445.540	15470.610	15677.704	15691.128	15809.083	15809.749	81.5
82.5	15457.923	15483.297	15690.030	15703.811	15814.720	15815.429	82.5
83.5	15470.457	15496.133	15702.506	15718.099	15820.020	15820.783	83.5

12

13

14

Table with 4 columns of numbers, rows 169-179.

15

16

17

Table with 4 columns of numbers, rows 0-50.

Table with 4 columns of numbers, rows 117-179.

Table with 4 columns of numbers, rows 51-116.

18

19

20

Table with 4 columns of numbers, rows 0-64.



Table with 4 columns of numerical data, rows 65-130.

Table with 4 columns of numerical data, rows 135-200.

Table with 4 columns of numerical data, rows 205-270.

Table with 4 columns of numerical data, rows 131-195.

Table with 4 columns of numerical data, rows 195-260.

Table with 4 columns of numerical data, rows 260-325.

Table with 4 columns of numerical data, rows 0-12, labeled 'B²Σ isotope'.

0 1 2

Table with 4 columns and 30 rows of numerical data.

3 4 5

Table with 4 columns and 30 rows of numerical data.

6 7 8

Table with 4 columns and 30 rows of numerical data.

9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Table with 10 columns and 30 rows of numerical data.

9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Table with 10 columns and 30 rows of numerical data.

9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Table with 10 columns and 30 rows of numerical data.

9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Table with 10 columns and 30 rows of numerical data.

9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Table with 10 columns and 30 rows of numerical data.

Table with 5 columns and 100 rows, labeled 6, 7, 8 at the top. Contains numerical data.

Table with 5 columns and 100 rows, labeled 9, 10, 11 at the top. Contains numerical data.

Table with 5 columns and 100 rows, labeled 107-172 on the left side. Contains numerical data.

Table with 5 columns and 100 rows, labeled 55-120 on the left side. Contains numerical data.

9

10

11

Table with 4 columns of numbers, rows 121.5 to 179.5.

Table with 4 columns of numbers, rows 69.5 to 134.5.

J

12

13

14

Table with 4 columns of numbers, rows 0.5 to 2.5.

Table with 4 columns of numbers, rows 135.5 to 149.5.

Table with 4 columns of numbers, rows 3.5 to 68.5.

Table with 4 columns of numbers, rows 135.5 to 179.5.

J

15

16

0

C²π

Table with 4 columns of numbers, rows 0.5 to 16.5.

15 16 0

Table with 5 columns and 45 rows of numerical data, starting with values like 17.5 15587.300 and ending with 82.5 16050.661.

1732.932 17415.852 21442.881 21043.594 149.5

Table with 5 columns and 20 rows of numerical data, starting with values like 149.5 17154.883 and ending with 179.5 17849.335.

0 1

Table with 5 columns and 20 rows of numerical data, starting with values like 0.5 19202.447 and ending with 30.5 19671.491.

Table with 5 columns and 45 rows of numerical data, starting with values like 83.5 16062.510 and ending with 148.5 17133.830.

Table with 5 columns and 45 rows of numerical data, starting with values like 31.5 19676.711 and ending with 96.5 20369.406.

97.5	20385.460	1991.725	20665.309	20268.696	20665.312	20268.603	97.5
98.5	20401.692	20007.862	20681.471	20284.772	20681.474	20284.678	98.5
99.5	20418.079	20024.161	20697.795	20301.009	20697.798	20300.914	99.5
100.5	20434.628	20040.621	20714.281	20317.407	20714.283	20317.311	100.5
101.5	20451.340	20057.243	20730.928	20333.966	20730.931	20333.866	101.5
102.5	20468.213	20074.000	20747.675	20351.024	20747.679	20350.911	102.5
103.5	20485.250	20090.900	20764.521	20367.965	20764.526	20367.866	103.5
104.5	20502.447	20108.076	20781.839	20384.806	20781.842	20384.505	104.5
105.5	20519.808	20125.343	20799.132	20401.607	20799.135	20401.705	105.5
106.5	20537.330	20142.771	20816.587	20419.159	20816.590	20419.066	106.5
107.5	20555.014	20160.360	20834.203	20436.691	20834.206	20436.587	107.5
108.5	20572.860	20178.110	20851.980	20454.374	20851.983	20454.269	108.5
109.5	20590.867	20196.026	20869.915	20472.512	20869.918	20472.407	109.5
110.5	20609.029	20214.092	20888.011	20491.210	20888.012	20491.112	110.5
111.5	20627.360	20232.325	20906.278	20509.383	20906.281	20509.274	111.5
112.5	20645.860	20250.718	20924.699	20528.706	20924.703	20528.596	112.5
113.5	20664.514	20269.271	20943.281	20548.199	20943.285	20548.078	113.5
114.5	20683.330	20287.985	20962.024	20568.832	20962.028	20568.719	114.5
115.5	20702.306	20306.860	20980.927	20589.634	20980.931	20589.521	115.5
116.5	20721.444	20325.895	20999.991	20610.597	20999.995	20610.482	116.5
117.5	20740.743	20345.090	21019.216	20631.719	21019.220	20631.603	117.5
118.5	20760.203	20364.445	21038.601	20653.005	21038.605	20652.883	118.5
119.5	20779.825	20383.961	21058.146	20665.441	21058.150	20665.323	119.5
120.5	20799.607	20403.636	21077.852	20679.042	21077.856	20678.922	120.5
121.5	20819.550	20423.471	21097.718	20693.802	21097.722	20693.681	121.5
122.5	20839.653	20443.467	21117.743	20708.721	21117.747	20708.599	122.5
123.5	20859.917	20463.622	21137.929	20723.789	21137.934	20723.667	123.5
124.5	20880.342	20483.936	21158.275	20739.005	21158.280	20738.883	124.5
125.5	20900.929	20504.411	21178.786	20754.371	21178.791	20754.249	125.5
126.5	20921.673	20525.045	21199.446	20769.887	21199.451	20769.765	126.5
127.5	20942.580	20545.838	21220.272	20785.551	21220.277	20785.429	127.5
128.5	20963.646	20566.790	21241.256	20801.374	21241.262	20801.252	128.5
129.5	20984.872	20587.902	21262.401	20817.346	21262.406	20817.224	129.5
130.5	21006.259	20609.173	21283.704	20833.375	21283.710	20833.253	130.5
131.5	21027.806	20630.604	21305.167	20849.461	21305.173	20849.339	131.5
132.5	21049.512	20652.193	21326.790	20865.602	21326.795	20865.480	132.5
133.5	21071.378	20673.941	21348.511	20881.798	21348.517	20881.676	133.5
134.5	21093.404	20695.848	21370.511	20898.049	21370.517	20897.927	134.5
135.5	21115.590	20717.913	21392.611	20914.354	21392.617	20914.232	135.5
136.5	21137.935	20740.137	21418.869	20930.714	21418.875	20930.592	136.5
137.5	21160.439	20762.520	21443.286	20947.135	21443.293	20947.013	137.5
138.5	21183.103	20785.061	21467.862	20963.616	21467.869	20963.494	138.5
139.5	21205.926	20807.751	21492.596	20980.157	21492.603	20979.991	139.5
140.5	21228.908	20830.618	21519.489	21006.758	21519.496	21006.640	140.5
141.5	21252.050	20853.634	21548.541	21033.419	21548.548	21033.301	141.5
142.5	21275.350	20876.808	21579.750	21060.240	21579.757	21060.122	142.5
143.5	21298.800	20900.140	21575.118	21087.221	21575.125	21087.103	143.5
144.5	21322.427	20923.630	21598.644	21114.357	21598.651	21114.239	144.5
145.5	21346.203	20947.278	21622.328	21141.547	21622.335	21141.429	145.5
146.5	21370.130	20971.081	21646.179	21168.791	21646.187	21168.673	146.5
147.5	21394.212	20995.045	21670.169	21196.188	21670.177	21196.069	147.5
148.5	21418.484	21019.166	21694.326	21224.631	21694.335	21224.513	148.5
149.5	21442.894	21043.443	21718.641	21253.216	21718.650	21253.098	149.5
150.5	21467.462	21067.878	21743.114	21281.941	21743.123	21281.823	150.5
151.5	21492.180	21092.470	21767.744	21310.714	21767.753	21310.596	151.5
152.5	21517.073	21117.219	21792.531	21339.539	21792.540	21339.421	152.5
153.5	21542.115	21142.027	21826.376	21368.416	21826.385	21368.298	153.5
154.5	21567.315	21166.999	21860.284	21397.345	21860.293	21397.227	154.5
155.5	21592.672	21192.140	21894.251	21427.319	21894.260	21427.201	155.5
156.5	21618.187	21217.784	21928.276	21457.349	21928.285	21457.231	156.5
157.5	21643.860	21243.316	21962.361	21487.434	21962.370	21487.316	157.5
158.5	21669.690	21269.005	21996.501	21517.574	21996.510	21517.456	158.5
159.5	21695.677	21294.851	22030.694	21547.771	22030.700	21547.653	159.5
160.5	21721.821	21320.954	22064.941	21578.019	22064.950	21577.901	160.5
161.5	21748.121	21347.310	22097.247	21608.318	22097.256	21608.200	161.5
162.5	21774.580	21373.324	22099.031	21645.010	22099.043	21644.892	162.5

163.5	21801.195	21399.793	22075.542	21671.378	22075.554	21671.260	163.5
164.5	21827.967	21426.419	22102.200	21697.900	22102.212	21697.782	164.5
165.5	21854.895	21453.200	22129.031	21724.578	22129.044	21724.460	165.5
166.5	21881.979	21480.136	22156.000	21751.410	22156.022	21751.292	166.5
167.5	21909.220	21507.228	22183.143	21778.398	22183.156	21778.280	167.5
168.5	21936.617	21534.475	22210.432	21805.539	22210.446	21805.421	168.5
169.5	21964.171	21561.881	22237.872	21832.736	22237.886	21832.618	169.5
170.5	21991.884	21589.435	22265.465	21860.089	22265.479	21859.971	170.5
171.5	22019.745	21617.147	22293.212	21887.592	22293.226	21887.474	171.5
172.5	22047.766	21645.014	22321.143	21915.245	22321.157	21915.127	172.5
173.5	22075.942	21673.036	22349.200	21943.055	22349.214	21942.937	173.5
174.5	22104.274	21701.213	22377.429	21971.912	22377.443	21971.794	174.5
175.5	22132.761	21729.544	22405.804	21999.825	22405.819	21999.707	175.5
176.5	22161.400	21758.029	22434.388	22027.889	22434.402	22027.771	176.5
177.5	22190.202	21786.669	22463.018	22056.108	22463.032	22055.990	177.5
178.5	22219.155	21815.462	22491.696	22084.474	22491.710	22084.356	178.5
179.5	22248.263	21844.410	22520.421	22112.895	22520.439	22112.777	179.5
180.5	21960.685	0.000	19760.694	0.000	20037.443	0.000	0.5
1.5	20156.342	19760.931	20156.342	19760.929	20436.058	20037.680	1.5
2.5	20156.754	19761.341	20156.754	19761.338	20436.468	20038.096	2.5
3.5	20157.330	19761.914	20157.330	19761.910	20437.041	20038.667	3.5
4.5	20158.070	19762.651	20158.070	19762.646	20437.779	20039.401	4.5
5.5	20158.975	19763.552	20158.975	19763.546	20438.681	20040.299	5.5
6.5	20159.948	19764.617	20159.948	19764.611	20439.746	20041.359	6.5
7.5	20161.079	19765.844	20161.079	19765.836	20440.970	20042.582	7.5
8.5	20162.377	19767.236	20162.377	19767.227	20442.349	20043.969	8.5
9.5	20163.841	19768.791	20163.841	19768.782	20443.786	20045.518	9.5
10.5	20165.468	19770.510	20165.468	19770.500	20445.291	20047.230	10.5
11.5	20167.260	19772.392	20167.260	19772.381	20447.870	20049.106	11.5
12.5	20169.217	19774.439	20169.217	19774.426	20449.581	20051.144	12.5
13.5	20171.330	19776.649	20171.330	19776.635	20451.324	20053.346	13.5
14.5	20173.594	19779.022	20173.594	19779.008	20453.109	20055.710	14.5
15.5	20176.010	19781.559	20176.010	19781.544	20454.941	20058.237	15.5
16.5	20178.579	19784.260	20178.579	19784.244	20456.820	20060.928	16.5
17.5	20181.306	19787.124	20181.306	19787.107	20458.746	20063.781	17.5
18.5	20184.191	19790.152	20184.191	19790.134	20460.718	20066.797	18.5
19.5	20188.139	19793.343	20188.139	19793.324	20462.735	20069.979	19.5
20.5	20192.249	19796.696	20192.249	19796.678	20464.797	20073.319	20.5
21.5	20196.529	19800.216	20196.529	19800.196	20466.909	20076.823	21.5
22.5	20199.930	19803.899	20199.930	19803.877	20469.068	20080.491	22.5
23.5	20203.395	19807.744	20203.395	19807.721	20471.273	20084.322	23.5
24.5	20207.925	19811.753	20207.925	19811.729	20473.524	20088.315	24.5
25.5	20211.620	19815.925	20211.620	19815.900	20475.825	20092.472	25.5
26.5	20215.478	19820.261	20215.478	19820.235	20478.176	20096.791	26.5
27.5	20219.400	19824.760	20219.400	19824.733	20480.577	20101.273	27.5
28.5	20223.388	19829.419	20223.388	19829.389	20483.028	20105.919	28.5
29.5	20228.040	19834.249	20228.040	19834.220	20485.529	20110.725	29.5
30.5	20232.355	19839.230	20232.355	19839.205	20488.071	20115.	

2		3	
177.5	22734.286	22325.078	22734.298
178.5	22763.011	22353.647	22763.023
179.5	22791.890	22382.369	22791.902
<p>23003.988 22591.837 177.5  23002.600 22620.293 178.5  23061.364 22640.900 179.5</p>			
3		4	
0.5	20037.442	0.000	20312.635
1.5	20436.059	20037.686	20714.204
2.5	20946.468	20338.093	20714.612
3.5	20437.041	20038.663	20715.184
4.5	20437.779	20039.396	20715.919
5.5	20438.681	20040.292	20716.817
6.5	20439.746	20041.352	20717.878
7.5	20440.976	20042.574	20719.103
8.5	20442.369	20043.959	20720.491
9.5	20443.926	20045.508	20722.042
10.5	20445.647	20047.219	20723.757
11.5	20447.532	20049.093	20725.634
12.5	20449.581	20051.131	20727.675
13.5	20451.794	20053.331	20729.879
14.5	20454.170	20055.695	20732.247
15.5	20456.711	20058.221	20734.778
16.5	20459.415	20060.910	20737.472
17.5	20462.283	20063.762	20740.329
18.5	20465.315	20066.778	20743.349
19.5	20468.511	20069.956	20746.532
20.5	20471.870	20073.297	20749.879
21.5	20475.393	20076.801	20753.389
22.5	20479.080	20080.467	20757.062
23.5	20482.931	20084.297	20760.898
24.5	20486.946	20088.290	20764.897
25.5	20491.129	20092.445	20769.059
26.5	20495.466	20096.763	20773.384
27.5	20499.971	20101.244	20777.872
28.5	20504.641	20105.988	20782.524
29.5	20509.473	20110.994	20787.338
30.5	20514.470	20116.264	20792.315
31.5	20519.630	20120.796	20797.456
32.5	20524.956	20126.090	20802.759
33.5	20530.441	20131.548	20808.225
34.5	20536.092	20137.168	20813.854
35.5	20541.906	20143.950	20819.646
36.5	20547.884	20150.895	20825.601
37.5	20554.025	20158.003	20831.718
38.5	20560.329	20165.274	20837.999
39.5	20566.797	20172.707	20844.442
40.5	20573.429	20180.302	20851.048
41.5	20580.224	20188.060	20857.816
42.5	20587.182	20197.880	20864.748
43.5	20594.303	20208.863	20871.842
44.5	20601.588	20220.008	20879.098
45.5	20609.036	20232.319	20886.518
46.5	20616.647	20244.795	20894.100
47.5	20624.421	20258.442	20901.844
48.5	20632.359	20273.264	20909.751
49.5	20640.459	20283.268	20917.820
50.5	20648.722	20293.457	20926.052
51.5	20657.149	20305.831	20934.446
52.5	20665.738	20319.400	20943.002
53.5	20674.491	20334.166	20951.721
54.5	20683.406	20349.139	20960.605
55.5	20692.489	20364.320	20969.656
56.5	20701.726	20380.714	20978.852
57.5	20711.130	20401.257	20988.219
58.5	20720.697	20427.072	20997.749

125.5	21729.775	21324.383	22002.922	21594.729	22002.919	21594.578	125.5
126.5	21750.280	21344.777	22023.347	21615.044	22023.345	21614.892	126.5
127.5	21770.944	21365.329	22043.931	21635.517	22043.928	21635.363	127.5
128.5	21791.772	21386.040	22064.674	21656.146	22064.669	21656.019	128.5
129.5	21812.747	21406.904	22085.570	21676.932	22085.567	21676.776	129.5
130.5	21833.885	21427.927	22106.627	21697.874	22106.623	21697.717	130.5
131.5	21855.182	21449.108	22127.840	21718.973	22127.837	21718.815	131.5
132.5	21876.636	21470.446	22149.211	21740.229	22149.208	21740.069	132.5
133.5	21898.249	21491.940	22170.739	21761.640	22170.736	21761.479	133.5
134.5	21920.019	21515.592	22192.424	21783.208	22192.421	21783.064	134.5
135.5	21941.941	21541.400	22214.276	21804.933	22214.272	21804.799	135.5
136.5	21964.032	21565.366	22236.266	21826.813	22236.262	21826.647	136.5
137.5	21986.275	21591.487	22258.422	21848.849	22258.418	21848.682	137.5
138.5	22008.676	21616.765	22280.734	21871.041	22280.731	21870.873	138.5
139.5	22031.233	21642.200	22303.204	21893.389	22303.200	21893.220	139.5
140.5	22053.948	21666.791	22325.830	21915.893	22325.826	21915.722	140.5
141.5	22076.820	21696.538	22348.613	21938.552	22348.609	21938.380	141.5
142.5	22099.849	21729.442	22371.551	21961.367	22371.548	21961.193	142.5
143.5	22123.035	21765.501	22394.647	21984.337	22394.639	21984.162	143.5
144.5	22146.378	21803.716	22417.898	22007.463	22417.894	22007.285	144.5
145.5	22169.878	21848.087	22441.306	22030.743	22441.302	22030.565	145.5
146.5	22193.534	21893.614	22464.869	22054.179	22464.865	22053.999	146.5
147.5	22217.347	21940.297	22488.598	22077.770	22488.584	22077.588	147.5
148.5	22241.316	21988.035	22512.464	22101.515	22512.459	22101.332	148.5
149.5	22265.441	22036.828	22536.494	22125.416	22536.490	22125.218	149.5
150.5	22289.724	22086.679	22560.781	22149.473	22560.776	22149.275	150.5
151.5	22314.161	22137.591	22585.323	22173.681	22585.318	22173.493	151.5
152.5	22338.755	22188.560	22609.520	22198.040	22609.516	22197.856	152.5
153.5	22363.505	22246.654	22634.172	22222.564	22634.168	22222.373	153.5
154.5	22388.410	22301.923	22658.980	22247.237	22658.976	22247.044	154.5
155.5	22413.472	22360.347	22683.943	22272.064	22683.939	22271.870	155.5
156.5	22438.688	22420.826	22709.061	22297.045	22709.055	22296.849	156.5
157.5	22464.051	22482.459	22734.333	22322.180	22734.329	22322.013	157.5
158.5	22489.589	22546.244	22759.740	22347.469	22759.750	22347.270	158.5
159.5	22515.272	22610.588	22785.342	22372.911	22785.338	22372.711	159.5
160.5	22541.110	22676.495	22811.079	22398.580	22811.075	22398.380	160.5
161.5	22567.103	22741.963	22836.970	22424.258	22836.966	22424.054	161.5
162.5	22593.252	22808.140	22863.015	22450.161	22863.011	22449.955	162.5
163.5	22619.555	22875.929	22889.214	22476.217	22889.210	22476.010	163.5
164.5	22646.013	22958.210	22915.567	22502.427	22915.564	22502.218	164.5
165.5	22672.625	23030.076	22942.075	22528.790	22942.071	22528.579	165.5
166.5	22699.392	23108.436	22968.736	22555.300	22968.732	22555.093	166.5
167.5	22726.313	23187.295	22995.551	22581.974	22995.547	22581.760	167.5
168.5	22753.389	23266.659	23022.520	22608.796	23022.516	22608.580	168.5
169.5	22780.619	23346.527	23049.642	22635.770	23049.638	22635.552	169.5
170.5	22808.002	23426.907	23076.917	22662.896	23076.914	22662.677	170.5
171.5	22835.540	23508.893	23104.346	22690.175	23104.342	22689.954	171.5
172.5	22863.232	23591.481	23131.927	22717.605	23131.925	22717.383	172.5
173.5	22891.077	23674.774	23159.663	22745.189	23159.660	22744.973	173.5
174.5	22919.076	23758.767	23187.550	22772.925	23187.548	22772.698	174.5
175.5	22947.228	23843.463	23215.591	22800.812	23215.589	22800.583	175.5
176.5	22975.534	23928.861	23243.784	22828.851	23243.782	22828.620	176.5
177.5	23004.093	24014.963	23272.130	22857.041	23272.128	22856.809	177.5
178.5	23032.805	24102.167	23300.629	22885.383	23300.627	22885.149	178.5
179.5	23061.670	24190.482	23329.279	22913.877	23329.278	22913.640	179.5

59.5	20730.426	20330.449	21007.442	20604.577	21007.441	20604.509	59.5
60.5	20740.319	20340.287	21017.296	20614.379	21017.296	20614.310	60.5
61.5	20750.373	20350.280	21027.312	20624.341	21027.312	20624.272	61.5
62.5	20760.591	20360.450	21037.490	20634.466	21037.490	20634.395	62.5
63.5	20770.971	20370.774	21047.830	20644.678	21047.830	20644.678	63.5
64.5	20781.513	20381.259	21058.332	20655.197	21058.332	20655.197	64.5
65.5	20792.218	20391.908	21068.985	20665.925	21068.985	20665.925	65.5
66.5	20803.086	20402.715	21079.821	20676.873	21079.821	20676.873	66.5
67.5	20814.115	20413.685	21090.809	20687.950	21090.809	20687.950	67.5
68.5	20825.308	20424.817	21101.958	20699.161	21101.958	20699.161	68.5
69.5	20836.662	20436.110	21113.269	20710.504	21113.269	20710.504	69.5
70.5	20848.179	20447.564	21124.741	20722.071	21124.741	20722.071	70.5
71.5	20859.858	20459.180	21136.375	20733.825	21136.375	20733.825	71.5
72.5	20871.699	20471.968	21148.169	20745.759	21148.169	20745.759	72.5
73.5	20883.702	20484.926	21160.120	20757.863			

73.5	21434.991	21028.371	21434.991	21028.280	21708.301	21298.741	73.5
74.5	21447.063	21040.378	21447.063	21040.286	21720.326	21310.701	74.5
75.5	21459.295	21052.545	21459.294	21052.452	21732.511	21322.821	75.5
76.5	21471.688	21064.871	21471.687	21064.777	21744.855	21335.099	76.5
77.5	21484.241	21077.358	21484.240	21077.262	21757.360	21347.537	77.5
78.5	21496.956	21090.004	21496.955	21089.907	21770.025	21360.134	78.5
79.5	21509.831	21106.911	21509.830	21106.815	21782.850	21372.891	79.5
80.5	21522.865	21125.175	21522.864	21125.079	21795.834	21385.805	80.5
81.5	21536.061	21144.800	21536.060	21144.704	21808.978	21398.879	81.5
82.5	21549.417	21164.884	21549.416	21164.788	21822.283	21412.111	82.5
83.5	21562.933	21185.628	21562.932	21185.532	21835.746	21425.503	83.5
84.5	21576.609	21207.072	21576.608	21206.976	21849.370	21439.053	84.5
85.5	21590.446	21228.224	21590.445	21228.128	21863.152	21452.762	85.5
86.5	21604.443	21249.087	21604.442	21248.991	21877.095	21466.839	86.5
87.5	21618.599	21270.661	21618.598	21270.565	21891.197	21481.285	87.5
88.5	21632.916	21292.957	21632.915	21292.861	21905.458	21496.110	88.5
89.5	21647.393	21315.971	21647.392	21315.875	21919.879	21511.335	89.5
90.5	21662.030	21340.706	21662.029	21340.610	21934.468	21526.960	90.5
91.5	21676.826	21365.160	21676.825	21365.064	21949.197	21543.004	91.5
92.5	21691.782	21390.344	21691.781	21390.248	21964.095	21559.462	92.5
93.5	21706.899	21416.267	21706.898	21416.171	21979.152	21576.349	93.5
94.5	21722.174	21442.930	21722.173	21442.834	21994.387	21593.676	94.5
95.5	21737.609	21469.343	21737.608	21469.247	22009.740	21611.453	95.5
96.5	21753.203	21496.506	21753.202	21496.410	22025.217	21629.685	96.5
97.5	21768.957	21523.429	21768.956	21523.333	22040.970	21648.374	97.5
98.5	21784.871	21551.112	21784.870	21551.016	22056.821	21667.525	98.5
99.5	21800.944	21578.556	21800.943	21578.460	22072.831	21687.149	99.5
100.5	21817.176	21606.769	21817.175	21606.673	22089.000	21707.250	100.5
101.5	21833.569	21634.752	21833.568	21634.656	22105.327	21727.831	101.5
102.5	21850.117	21663.515	21850.116	21663.419	22121.813	21748.891	102.5
103.5	21866.826	21692.058	21866.825	21691.962	22138.457	21770.432	103.5
104.5	21883.694	21721.381	21883.693	21721.285	22155.260	21792.456	104.5
105.5	21900.721	21751.494	21900.720	21751.398	22172.220	21814.970	105.5
106.5	21917.907	21782.397	21917.906	21782.301	22189.339	21837.984	106.5
107.5	21935.252	21814.090	21935.251	21814.004	22206.616	21861.500	107.5
108.5	21952.755	21847.573	21952.754	21847.487	22224.051	21885.524	108.5
109.5	21970.417	21881.856	21970.416	21881.770	22241.644	21910.068	109.5
110.5	21988.237	21915.939	21988.236	21915.853	22259.397	21935.142	110.5
111.5	22006.216	21950.822	22006.215	21950.736	22277.310	21960.766	111.5
112.5	22024.353	21985.515	22024.352	21985.429	22295.383	21986.951	112.5
113.5	22042.649	22032.018	22042.648	22031.932	22313.594	22013.701	113.5
114.5	22061.102	22078.231	22061.101	22078.145	22331.975	22041.025	114.5
115.5	22079.714	22125.164	22079.713	22125.078	22350.514	22068.939	115.5
116.5	22098.484	22171.817	22098.483	22171.731	22369.211	22097.453	116.5
117.5	22117.412	22221.190	22117.411	22221.104	22388.064	22127.577	117.5
118.5	22136.497	22272.303	22136.496	22272.217	22407.075	22158.318	118.5
119.5	22155.741	22325.056	22155.740	22325.000	22426.244	22189.673	119.5
120.5	22175.142	22374.469	22175.141	22374.383	22445.569	22221.648	120.5
121.5	22194.701	22424.542	22194.700	22424.456	22465.051	22252.174	121.5
122.5	22214.417	22475.285	22214.416	22475.199	22484.690	22282.948	122.5
123.5	22234.290	22526.698	22234.289	22526.612	22504.486	22312.172	123.5
124.5	22254.322	22577.781	22254.321	22577.695	22524.439	22341.841	124.5
125.5	22274.511	22628.534	22274.510	22628.448	22544.549	22372.062	125.5
126.5	22294.857	22680.947	22294.856	22680.861	22564.815	22402.826	126.5
127.5	22315.359	22734.000	22315.358	22733.914	22585.237	22432.140	127.5
128.5	22336.019	22787.713	22336.018	22787.627	22605.816	22462.004	128.5
129.5	22356.846	22842.086	22356.845	22841.999	22626.551	22491.427	129.5
130.5	22377.830	22897.029	22377.829	22896.942	22647.443	22521.410	130.5
131.5	22398.941	22951.542	22398.940	22951.455	22668.490	22551.953	131.5
132.5	22420.228	23002.635	22420.227	23002.548	22689.694	22582.167	132.5
133.5	22441.671	23059.308	22441.670	23059.221	22711.053	22613.053	133.5
134.5	22463.272	23111.561	22463.271	23111.474	22732.569	22643.613	134.5
135.5	22485.028	23169.394	22485.027	23169.307	22754.740	22673.935	135.5
136.5	22507.941	23232.807	22507.940	23232.720	22776.667	22704.033	136.5
137.5	22529.011	23302.890	22529.010	23302.803	22798.362	22733.900	137.5
138.5	22551.236	23379.605	22551.235	23379.518	22820.777	22763.543	138.5

21.5	21304.698	20987.254	21304.697	20987.168	21578.025	21167.670	21.5
22.5	21308.342	20990.878	21308.341	20990.792	21581.655	21171.282	22.5
23.5	21312.149	20994.664	21312.148	20994.578	21585.447	21175.054	23.5
24.5	21316.117	20998.610	21316.116	20998.524	21589.400	21178.952	24.5
25.5	21320.247	20992.717	21320.246	20992.631	21593.514	21183.079	25.5
26.5	21324.539	21000.987	21324.538	21000.901	21597.789	21187.341	26.5
27.5	21328.993	21009.414	21328.992	21009.328	21602.226	21191.745	27.5
28.5	21333.609	21018.004	21333.608	21017.918	21606.824	21196.281	28.5
29.5	21338.386	21026.755	21338.385	21026.669	21611.583	21201.951	29.5
30.5	21343.325	21035.667	21343.324	21035.581	21616.503	21207.864	30.5
31.5	21348.426	21044.740	21348.425	21044.654	21621.584	21213.000	31.5
32.5	21353.688	21053.973	21353.687	21053.887	21626.826	21218.169	32.5
33.5	21359.112	21063.367	21359.111	21063.281	21632.229	21223.373	33.5
34.5	21364.698	21072.922	21364.697	21072.836	21637.793	21228.617	34.5
35.5	21370.445	21082.638	21370.444	21082.552	21643.518	21233.991	35.5
36.5	21376.354	21092.514	21376.353	21092.428	21649.404	21239.423	36.5
37.5	21382.425	21102.552	21382.424	21102.466	21655.451	21244.917	37.5
38.5	21388.657	21112.749	21388.656	21112.663	21661.659	21250.560	38.5
39.5	21395.050	21123.108	21395.049	21123.022	21668.028	21257.344	39.5
40.5	21401.605	21133.631	21401.604	21133.545	21674.554	21264.268	40.5
41.5	21408.322	21144.320	21408.321	21144.234	21681.248	21271.342	41.5
42.5	21415.200	21151.177	21415.199	21151.091	21688.099	21278.567	42.5
43.5	21422.239	21160.200	21422.238	21160.114	21695.112	21285.943	43.5
44.5	21429.440	21170.389	21429.439	21170.303	21702.284	21293.477	44.5
45.5	21436.802	21181.742	21436.801	21181.656	21709.528	21301.170	45.5
46.5	21444.325	21196.265	21444.324	21196.179	21717.931	21309.023	46.5
47.5	21452.010	21213.050	21452.009	21212.964	21727.497	21317.047	47.5
48.5	21459.856	21231.095	21459.855	21231.009	21737.232	21325.241	48.5
49.5	21467.863	21250.308	21467.862	21250.222	21747.135	21333.605	49.5
50.5	21476.022	21270.681	21476.021	21270.595	21757.208	21342.139	50.5
51.5	21484.341	21292.224	21484.340	21292.138	21767.451	21350.842	51.5
52.5	21492.819	21313.937	21492.818	21313.851	21777.864	21359.716	52.5
53.5	21501.450	21336.820	21501.449	21336.734	21788.447	21368.760	53.5
54.5	21510.243	21361.873	21510.242	21361.787	21799.194	21377.984	54.5
55.5	21519.190	21388.106	21519.189	21388.020	21810.009	21387.397	55.5
56.5	21528.294	21415.519	21528.293	21415.433	21820.994	21396.990	56.5
57.5	21537.547	21444.112	21537.546	21444.026	21832.149	21406.764	57.5
58.5	21546.950	21473.885	21546.949	21473.799	21843.474	21416.718	58.5
59.5	21556.503	21504.828	21556.502	21504.742	21854.969	21426.852	59.5
60.5	21566.206	21536.941	21566.205	21536.855	21866.634	21437.166	60.5
61.5	21576.059	21570.224	21576.058	21570.138	21878.471	21447.650	61.5
62.5	21586.062	21604.677	21586.061	21604.591	21890.474	21458.294	62.5
63.5	21596.215	21640.300	21596.214	21640.214	21902.643	21469.108	63.5
64.5	21606.518	21677.093	21606.517	21676.907	21914.978	21480.192	64.5
65.5	21617.071	21717.046	21617.070	21716.960	21927.479	21491.546	65.5
66.5	21627.874	21758.169	21627.873	21758.083	21940.136	21503.270	66.5
67.5	21638.917	21800.462	21638.916	21800.376	21952.949	21515.274	67.5
68.5	21650.200	21843.925	21650.199	21843.839	2		



6

7

153.5	23170.836	22753.164	23436.871	23016.467	23436.854	23016.249	153.5
154.5	23195.448	22777.640	23461.385	23040.847	23461.368	23040.628	154.5
155.5	23220.214	22802.269	23486.055	23065.380	23486.036	23065.159	155.5
156.5	23245.000	22827.000	23510.840	23090.000	23510.820	23090.000	156.5
157.5	23270.207	22851.985	23535.848	23114.901	23535.830	23114.677	157.5
158.5	23295.434	22877.072	23560.975	23139.890	23560.957	23139.664	158.5
159.5	23320.814	22902.312	23586.254	23165.030	23586.236	23164.803	159.5
160.5	23346.347	22927.703	23611.686	23190.322	23611.668	23190.095	160.5
161.5	23372.033	22953.247	23637.271	23215.766	23637.252	23215.536	161.5
162.5	23397.873	22978.944	23663.008	23241.361	23663.989	23241.129	162.5
163.5	23423.865	23004.792	23688.897	23267.108	23688.877	23266.874	163.5
164.5	23450.010	23030.792	23714.938	23293.006	23714.919	23292.700	164.5
165.5	23476.308	23056.943	23741.131	23319.055	23741.112	23318.817	165.5
166.5	23502.758	23083.247	23767.476	23345.255	23767.457	23345.016	166.5
167.5	23529.361	23109.702	23793.973	23371.606	23793.953	23371.365	167.5
168.5	23556.116	23136.306	23820.622	23398.107	23820.602	23397.865	168.5
169.5	23583.023	23163.066	23847.422	23424.760	23847.402	23424.515	169.5
170.5	23610.083	23189.975	23874.374	23451.565	23874.354	23451.311	170.5
171.5	23637.294	23217.035	23901.477	23478.516	23901.456	23478.268	171.5
172.5	23664.658	23244.246	23928.731	23505.620	23928.711	23505.370	172.5
173.5	23692.173	23271.607	23956.136	23532.874	23956.116	23532.622	173.5
174.5	23719.839	23299.120	23983.693	23560.278	23983.672	23560.024	174.5
175.5	23747.658	23326.783	24011.400	23587.832	24011.379	23587.576	175.5
176.5	23775.627	23354.596	24039.258	23615.536	24039.237	23615.278	176.5
177.5	23803.748	23382.560	24067.266	23643.389	24067.245	23643.130	177.5
178.5	23832.020	23410.677	24095.425	23671.392	24095.404	23671.178	178.5
179.5	23860.443	23438.938	24123.735	23699.545	24123.714	23699.282	179.5

101.5	22644.217	22226.663	22644.210	22226.515	22911.358	22490.882	101.5
102.5	22660.573	22242.932	22660.567	22242.782	22927.651	22507.086	102.5
103.5	22677.088	22259.356	22677.081	22259.205	22944.100	22523.446	103.5
104.5	22693.762	22275.930	22693.755	22275.754	22960.606	22540.067	104.5
105.5	22710.587	22292.674	22710.579	22292.519	22977.127	22556.632	105.5
106.5	22727.572	22309.567	22727.564	22309.411	22994.386	22573.458	106.5
107.5	22744.714	22326.615	22744.706	22326.458	23011.460	22590.439	107.5
108.5	22762.012	22343.820	22762.004	22343.661	23028.690	22607.576	108.5
109.5	22779.467	22361.181	22779.459	22361.020	23046.077	22624.868	109.5
110.5	22797.079	22378.697	22797.071	22378.535	23063.620	22642.315	110.5
111.5	22814.848	22396.369	22814.839	22396.206	23081.318	22659.917	111.5
112.5	22832.773	22414.196	22832.764	22414.032	23099.172	22677.674	112.5
113.5	22850.854	22432.179	22850.845	22432.013	23117.182	22695.586	113.5
114.5	22869.091	22450.318	22869.082	22450.150	23135.348	22713.652	114.5
115.5	22887.485	22468.611	22887.475	22468.442	23153.669	22731.874	115.5
116.5	22906.035	22487.060	22906.025	22486.890	23172.146	22750.250	116.5
117.5	22924.741	22505.665	22924.731	22505.493	23190.778	22768.780	117.5
118.5	22943.603	22524.424	22943.592	22524.250	23209.566	22787.465	118.5
119.5	22962.621	22543.338	22962.610	22543.163	23228.506	22806.304	119.5
120.5	22981.794	22562.407	22981.783	22562.231	23247.606	22825.299	120.5
121.5	23001.124	22581.632	23001.113	22581.454	23266.859	22844.446	121.5
122.5	23020.609	22601.010	23020.597	22600.831	23286.266	22863.748	122.5
123.5	23040.250	22620.544	23040.238	22620.363	23305.831	22883.204	123.5
124.5	23060.046	22640.232	23060.033	22640.050	23325.548	22902.814	124.5
125.5	23079.997	22660.076	23079.985	22660.000	23345.400	22922.578	125.5
126.5	23100.104	22680.077	23100.091	22680.000	23365.387	22942.584	126.5
127.5	23120.366	22700.223	23120.353	22700.037	23385.630	22962.567	127.5
128.5	23140.783	22720.529	23140.770	22720.341	23405.957	22982.792	128.5
129.5	23161.355	22740.989	23161.342	22740.799	23426.457	23003.171	129.5
130.5	23182.082	22761.603	23182.068	22761.412	23447.102	23023.703	130.5
131.5	23202.964	22782.371	23202.950	22782.178	23467.902	23044.388	131.5
132.5	23224.001	22803.293	23224.987	22803.098	23488.855	23065.227	132.5
133.5	23245.192	22824.368	23245.178	22824.173	23509.963	23086.218	133.5
134.5	23266.539	22845.597	23266.523	22845.400	23531.224	23107.363	134.5
135.5	23288.039	22866.980	23288.024	22866.782	23552.633	23128.661	135.5
136.5	23309.694	22888.517	23309.678	22888.311	23574.209	23150.112	136.5
137.5	23331.503	22910.207	23331.487	22910.005	23595.931	23171.715	137.5
138.5	23353.467	22932.050	23353.450	22931.847	23617.808	23193.471	138.5
139.5	23375.584	22954.046	23375.568	22953.842	23639.937	23215.380	139.5
140.5	23397.856	22976.196	23397.839	22975.990	23662.221	23237.440	140.5
141.5	23420.281	22998.498	23420.264	22998.293	23684.664	23259.655	141.5
142.5	23442.861	23020.954	23442.843	23020.745	23707.262	23282.021	142.5
143.5	23465.594	23043.562	23465.576	23043.352	23729.989	23304.539	143.5
144.5	23488.480	23066.324	23488.462	23066.111	23752.285	23327.209	144.5
145.5	23511.521	23089.237	23511.502	23089.023	23775.234	23350.032	145.5
146.5	23534.714	23112.304	23534.695	23112.098	23797.835	23373.006	146.5
147.5	23558.061	23135.522	23558.042	23135.305	23821.559	23396.432	147.5
148.5	23581.564	23158.896	23581.544	23158.675	23845.483	23419.511	148.5
149.5	23605.215	23183.427	23605.195	23183.197	23869.558	23442.839	149.5
150.5	23629.021	23208.112	23629.001	23207.811	23893.267	23466.420	150.5
151.5	23652.980	23232.920	23652.960	23232.697	23917.130	23490.152	151.5
152.5	23677.092	23257.939	23677.072	23257.724	23941.164	23514.035	152.5
153.5	23701.357	23283.030	23701.336	23282.704	23965.315	23538.070	153.5
154.5	23725.774	23308.213	23725.753	23308.005	23989.635	23562.256	154.5
155.5	23750.344	23333.588	23750.323	23333.387	24014.143	23586.592	155.5
156.5	23775.066	23359.161	23775.044	23358.954	24038.831	23611.080	156.5
157.5	23799.941	23385.937	23799.919	23385.719	24063.505	23635.718	157.5
158.5	23824.968	23412.920	23824.946	23412.690	24088.276	23660.507	158.5
159.5	23850.146	23440.112	23850.124	23440.000	24113.146	23685.446	159.5
160.5	23875.477	23467.511	23875.454	23467.300	24138.110	23710.536	160.5
161.5	23900.960	23495.116	23900.936	23495.000	24163.180	23735.777	161.5
162.5	23926.594	23522.923	23926.570	23522.807	24188.352	23761.167	162.5
163.5	23952.378	23550.932	23952.353	23550.816	24213.624	23786.704	163.5
164.5	23978.311	23579.143	23978.285	23579.027	24239.496	23812.491	164.5
165.5	24004.406	23607.558	24004.379	23607.442	24265.969	23838.538	165.5
166.5	24030.646	23636.177	24030.619	23636.057	24292.944	23864.844	166.5

8

9

0.5	21397.891	0.000	21397.889	0.000	21665.359	0.000	0.5
1.5	21411.257	21399.132	21411.226	21399.132	21665.359	21399.132	1.5
2.5	21425.628	21399.532	21425.597	21399.532	21665.359	21399.532	2.5
3.5	21440.000	21399.927	21440.000	21399.927	21665.359	21399.927	3.5
4.5	21454.375	21399.813	21454.344	21399.813	21665.359	21399.813	4.5
5.5	21468.750	21399.693	21468.719	21399.693	21665.359	21399.693	5.5
6.5	21483.125	21399.568	21483.094	21399.568	21665.359	21399.568	6.5
7.5	21497.500	21399.438	21497.469	21399.438	21665.359	21399.438	7.5
8.5	21511.875	21399.303	21511.844	21399.303	21665.359	21399.303	8.5
9.5	21526.250	21399.163	21526.219	21399.163	21665.359	21399.163	9.5
10.5	21540.625	21399.018	21540.594	21399.018	21665.359	21399.018	10.5
11.5	21555.000	21398.868	21554.969	21398.868	21665.359	21398.868	11.5
12.5	21569.375	21398.713	21569.344	21398.713	21665.359	21398.713	12.5
13.5	21583.750	21398.553	21583.719	21398.553	21665.359	21398.553	13.5
14.5	21598.125	21398.388	21598.094	21398.388	21665.359	21398.388	14.5
15.5	21612.500	21398.218	21612.469	21398.218	21665.359	21398.218	15.5
16.5	21626.875	21398.043	21626.844	21398.043	21665.359	21398.043	16.5
17.5	21641.250	21397.863	21641.219	21397.863	21665.359	21397.863	17.5
18.5	21655.625	21397.678	21655.594	21397.678	21665.359	21397.678	18.5</

49.5	22281.329	21864.178	22549.418	22129.420	22549.417	22129.339	49.5
50.5	22289.402	21872.206	22557.460	22137.419	22557.459	22137.336	50.5
51.5	22297.635	21880.393	22565.661	22145.575	22565.660	22145.491	51.5
52.5	22306.027	21888.739	22574.020	22153.889	22574.019	22153.804	52.5
53.5	22314.578	21897.243	22582.528	22162.361	22582.526	22162.274	53.5
54.5	22323.288	21905.905	22591.214	22170.991	22591.212	22170.902	54.5
55.5	22332.166	21914.729	22600.000	22179.876	22600.000	22179.800	55.5
56.5	22341.186	21923.704	22609.042	22188.923	22609.040	22188.831	56.5
57.5	22350.373	21932.840	22618.193	22198.226	22618.192	22198.132	57.5
58.5	22359.720	21942.135	22627.500	22207.085	22627.500	22207.000	58.5
59.5	22369.225	21951.588	22636.971	22215.503	22636.970	22215.406	59.5
60.5	22378.890	21961.199	22646.598	22224.078	22646.596	22224.000	60.5
61.5	22388.713	21970.968	22656.383	22232.810	22656.381	22232.709	61.5
62.5	22398.699	21980.896	22666.324	22241.699	22666.322	22241.600	62.5
63.5	22408.836	21990.980	22676.427	22251.746	22676.425	22251.642	63.5
64.5	22419.135	22001.223	22686.686	22261.955	22686.684	22261.845	64.5
65.5	22429.593	22011.623	22697.104	22272.311	22697.101	22272.204	65.5
66.5	22440.210	22022.182	22707.679	22282.830	22707.677	22282.721	66.5
67.5	22450.986	22032.898	22718.413	22293.505	22718.410	22293.395	67.5
68.5	22461.920	22043.772	22729.300	22304.338	22729.297	22304.226	68.5
69.5	22473.015	22054.803	22740.353	22315.329	22740.350	22315.218	69.5
70.5	22484.269	22065.992	22751.560	22326.474	22751.557	22326.359	70.5
71.5	22495.673	22077.339	22762.925	22337.777	22762.922	22337.661	71.5
72.5	22507.241	22088.843	22774.448	22350.238	22774.445	22350.120	72.5
73.5	22518.967	22100.504	22786.128	22362.865	22786.125	22362.735	73.5
74.5	22530.852	22112.323	22797.966	22375.657	22797.963	22375.508	74.5
75.5	22542.894	22124.300	22809.961	22388.559	22809.958	22388.471	75.5
76.5	22555.095	22136.433	22822.115	22400.647	22822.111	22400.520	76.5
77.5	22567.456	22148.718	22834.405	22412.931	22834.401	22412.765	77.5
78.5	22579.971	22161.172	22846.893	22425.291	22846.889	22425.164	78.5
79.5	22592.646	22173.777	22859.510	22437.840	22859.514	22437.719	79.5
80.5	22605.479	22186.539	22872.301	22450.562	22872.297	22450.431	80.5
81.5	22618.470	22199.459	22885.241	22463.431	22885.237	22463.299	81.5
82.5	22631.618	22212.535	22898.338	22476.458	22898.334	22476.324	82.5
83.5	22644.925	22225.768	22911.593	22489.640	22911.588	22489.505	83.5
84.5	22658.389	22239.158	22925.004	22502.979	22925.000	22502.842	84.5
85.5	22671.911	22252.705	22938.572	22516.474	22938.567	22516.335	85.5
86.5	22685.590	22266.400	22952.288	22530.125	22952.292	22530.184	86.5
87.5	22699.427	22280.248	22966.180	22543.932	22966.174	22543.790	87.5
88.5	22713.421	22294.255	22980.219	22557.894	22980.213	22557.751	88.5
89.5	22727.473	22308.458	22994.415	22572.013	22994.409	22571.868	89.5
90.5	22741.482	22322.788	23008.768	22586.288	23008.762	22586.142	90.5
91.5	22755.049	22337.274	23023.327	22600.719	23023.321	22600.570	91.5
92.5	22768.773	22351.917	23037.967	22615.305	23037.961	22615.155	92.5
93.5	22782.653	22366.716	23052.766	22630.047	23052.759	22630.006	93.5
94.5	22796.691	22381.671	23067.745	22644.944	23067.738	22644.792	94.5
95.5	22810.886	22396.782	23082.808	22659.997	23082.803	22659.843	95.5
96.5	22825.238	22412.050	23098.172	22675.206	23098.164	22675.050	96.5
97.5	22839.747	22427.473	23113.820	22690.570	23113.812	22690.413	97.5
98.5	22854.413	22443.052	23129.824	22707.089	23129.821	22707.000	98.5
99.5	22869.245	22458.788	23146.164	22723.764	23146.161	22723.603	99.5
100.5	22884.245	22474.679	23162.901	22739.594	23162.897	22739.432	100.5
101.5	22899.401	22490.726	23179.974	22755.579	23179.965	22755.415	101.5
102.5	22914.723	22506.928	23197.302	22771.718	23197.293	22771.653	102.5
103.5	22930.215	22523.287	23214.887	22788.113	23214.872	22788.051	103.5
104.5	22945.877	22539.800	23232.722	22804.763	23232.714	22804.650	104.5
105.5	22961.709	22556.473	23250.816	22821.678	23250.807	22821.545	105.5
106.5	22977.721	22573.306	23269.069	22838.859	23269.059	22838.706	106.5
107.5	22993.913	22590.300	23287.484	22856.306	23287.473	22856.193	107.5
108.5	23010.285	22607.457	23306.061	22874.019	23306.049	22873.856	108.5
109.5	23026.838	22624.777	23324.800	22891.998	23324.787	22891.795	109.5
110.5	23043.573	22642.265	23343.700	22910.241	23343.692	22910.038	110.5
111.5	23060.490	22659.924	23362.761	22928.748	23362.751	22928.544	111.5
112.5	23077.591	22677.751	23381.984	22947.519	23381.972	22947.311	112.5
113.5	23094.878	22695.844	23401.379	22966.562	23401.369	22966.365	113.5
114.5	23112.351	22714.197	23420.946	22985.877	23420.936	22985.679	114.5

0.5	22195.726	0.000	22195.724	0.000	22458.638	0.000	0.5
1.5	22617.938	22195.964	22617.938	22195.961	22618.667	22458.875	1.5
2.5	22618.192	22196.914	22618.192	22196.910	22619.400	22459.112	2.5
3.5	22619.446	22197.864	22619.446	22197.860	22620.133	22459.349	3.5
4.5	22620.700	22198.814	22620.700	22198.810	22620.866	22459.586	4.5
5.5	22621.954	22199.764	22621.954	22199.760	22621.600	22459.823	5.5
6.5	22623.208	22200.714	22623.208	22200.710	22622.333	22460.060	6.5
7.5	22624.462	22201.664	22624.462	22201.660	22623.066	22460.297	7.5
8.5	22625.716	22202.614	22625.716	22202.610	22623.800	22460.534	8.5
9.5	22626.970	22203.564	22626.970	22203.560	22624.533	22460.771	9.5
10.5	22628.224	22204.514	22628.224	22204.510	22625.266	22461.008	10.5
11.5	22629.478	22205.464	22629.478	22205.460	22626.000	22461.245	11.5
12.5	22630.732	22206.414	22630.732	22206.410	22626.733	22461.482	12.5
13.5	22631.986	22207.364	22631.986	22207.360	22627.466	22461.719	13.5
14.5	22633.240	22208.314	22633.240	22208.310	22628.200	22461.956	14.5
15.5	22634.494	22209.264	22634.494	22209.260	22628.933	22462.193	15.5
16.5	22635.748	22209.214	22635.748	22209.210	22629.666	22462.430	16.5
17.5	22637.002	22209.164	22637.002	22209.160	22630.400	22462.667	17.5
18.5	22638.256	22209.114	22638.256	22209.110	22631.133	22462.904	18.5
19.5	22639.510	22209.064	22639.510	22209.060	22631.866	22463.141	19.5
20.5	22640.764	22209.014	22640.764	22209.010	22632.600	22463.378	20.5
21.5	22642.018	22208.964	22642.018	22208.960	22633.333	22463.615	21.5
22.5	22643.272	22208.914	22643.272	22208.910	22634.066	22463.852	22.5
23.5	22644.526	22208.864	22644.526	22208.860	22634.800	22464.089	23.5
24.5	22645.780	22208.814	22645.780	22208.810	22635.533	22464.326	24.5
25.5	22647.034	22208.764	22647.034	22208.760	22636.266	22464.563	25.5
26.5	22648.288	22208.714	22648.288	22208.710	22637.000	22464.800	26.5
27.5	22649.542	22208.664	22649.542	22208.660	22637.733	22465.037	27.5
28.5	22650.796	22208.614	22650.796	22208.610	22638.466	22465.274	28.5
29.5	22652.050	22208.564	22652.050	22208.560	22639.200	22465.511	29.5
30.5	22653.304	22208.514	22653.304	22208.510	22639.933	22465.748	30.5
31.5	22654.558	22208.464	22654.558	22208.460	22640.666	22465.985	31.5
32.5	22655.812	22208.414	22655.812	22208.410	22641.400	22466.222	32.5
33.5	22657.066	22208.364	22657.066	22208.360	22642.133	22466.459	33.5
34.5	22658.320	22208.314	22658.320	22208.310	22642.866	22466.696	34.5
35.5	22659.574	22208.264	22659.574	22208.260	22643.600	22466.933	35.5
36.5	22660.828	22208.214	22660.828	22208.210	22644.333	22467.170	36.5
37.5	22662.082	22208.164	22662.082	22208.160	22645.066	22467.407	37.5
38.5	22663.336	22208.114	22663.336	22208.110	22645.800	22467.644	38.5
39.5	22664.590	22208.064	22664.590	22208.060	22646.533	22467.881	39.5
40.5	22665.844	22208.014	22665.844	22208.010	22647.266	22468.118	40.5
41.5	22667.098	22207.964	22667.098	22207.960	22648.000	22468.355	41.5
42.5	22668.352	22207.914	22668.352	22207.910	22648.733	22468.592	42.5
43.5	22669.606	22207.864	22669.606	22207.860	22649.466	22468.829	43.5
44.5	22670.860	22207.814	22670.860	22207.810	22650.200	22469.066	44.5
45.5	22672.114	22207.764	22672.114	22207.760	22650.933	22469.303	45.5
46.5	22673.368	22207.714	22673.368	22207.710	22651.666	22469.540	46.5
47.5	22674.622	22207.664	22674.622	22207.660	22652.40		

129.5	23952.095	23522.981	23952.074	23522.765	24212.643	23780.622	129.5
130.5	23972.576	23543.349	23972.555	23543.132	24233.043	23800.909	130.5
131.5	23993.030	23553.609	23993.030	23553.609	24253.443	23821.309	131.5
132.5	24013.997	23584.542	24013.975	23584.331	24274.299	23841.337	132.5
133.5	24034.937	23605.366	24034.915	23605.144	24295.155	23862.677	133.5
134.5	24056.030	23626.342	24056.007	23626.119	24316.163	23883.569	134.5
135.5	24077.275	23647.470	24077.251	23647.245	24337.323	23904.612	135.5
136.5	24098.673	23668.750	24098.648	23668.523	24358.635	23925.806	136.5
137.5	24120.223	23690.181	24120.198	23690.952	24380.099	23947.151	137.5
138.5	24141.928	23711.763	24141.900	23711.533	24401.714	23968.647	138.5
139.5	24163.779	23733.497	24163.754	23733.265	24423.481	23990.293	139.5
140.5	24185.786	23755.382	24185.760	23755.145	24445.400	24012.090	140.5
141.5	24207.945	23777.418	24207.918	23777.183	24467.470	24034.037	141.5
142.5	24230.255	23799.605	24230.228	23799.368	24489.691	24056.135	142.5
143.5	24252.718	23821.943	24252.690	23821.705	24512.063	24078.383	143.5
144.5	24275.332	23844.432	24275.304	23844.192	24534.587	24100.781	144.5
145.5	24298.098	23867.071	24298.069	23866.830	24557.261	24123.330	145.5
146.5	24321.015	23889.861	24320.986	23889.619	24580.085	24146.028	146.5
147.5	24344.083	23912.802	24344.054	23912.558	24603.062	24168.876	147.5
148.5	24367.303	23935.893	24367.273	23935.647	24626.189	24191.874	148.5
149.5	24390.678	23959.135	24390.644	23958.887	24649.466	24215.022	149.5
150.5	24414.197	23982.526	24414.166	23982.277	24672.894	24238.319	150.5
151.5	24437.870	24006.068	24437.838	24005.817	24696.472	24261.766	151.5
152.5	24461.694	24029.760	24461.652	24029.508	24720.201	24285.362	152.5
153.5	24485.665	24053.595	24485.623	24053.344	24744.071	24309.107	153.5
154.5	24509.795	24077.593	24509.762	24077.342	24768.100	24333.002	154.5
155.5	24534.071	24101.735	24534.037	24101.477	24792.286	24357.046	155.5
156.5	24558.498	24126.025	24558.463	24125.766	24816.615	24381.238	156.5
157.5	24583.075	24150.466	24583.040	24150.205	24841.093	24405.580	157.5
158.5	24607.802	24175.055	24607.767	24174.793	24865.720	24430.070	158.5
159.5	24632.679	24199.794	24632.644	24199.530	24890.498	24454.708	159.5
160.5	24657.707	24224.682	24657.670	24224.416	24915.424	24479.496	160.5
161.5	24682.924	24249.719	24682.887	24249.451	24940.500	24504.431	161.5
162.5	24708.211	24274.905	24708.174	24274.636	24965.725	24529.515	162.5
163.5	24733.689	24300.240	24733.650	24300.969	24991.099	24554.747	163.5
164.5	24759.315	24325.723	24759.276	24325.455	25016.622	24580.127	164.5
165.5	24785.091	24351.355	24785.052	24351.081	25042.294	24605.655	165.5
166.5	24811.016	24377.136	24810.976	24376.859	25068.114	24631.331	166.5
167.5	24837.090	24403.064	24837.050	24402.786	25094.084	24657.154	167.5
168.5	24863.314	24429.141	24863.274	24428.062	25120.201	24683.126	168.5
169.5	24889.686	24455.367	24889.646	24455.095	25146.457	24709.244	169.5
170.5	24916.208	24481.740	24916.167	24481.456	25172.881	24735.510	170.5
171.5	24942.878	24508.261	24942.836	24507.975	25199.444	24761.923	171.5
172.5	24969.697	24534.929	24969.655	24534.642	25226.154	24788.483	172.5
173.5	24996.664	24561.746	24996.622	24561.457	25253.012	24815.191	173.5
174.5	25023.780	24588.710	25023.737	24588.419	25280.018	24842.045	174.5
175.5	25051.044	24615.821	25051.001	24615.528	25307.172	24869.046	175.5
176.5	25078.458	24643.075	25078.415	24642.771	25334.475	24896.198	176.5
177.5	25106.017	24670.485	25106.972	24670.189	25361.921	24923.487	177.5
178.5	25133.725	24698.038	25133.680	24697.739	25389.517	24950.928	178.5
179.5	25161.581	24725.737	25161.536	24725.437	25417.260	24978.514	179.5

77.5	23363.798	22936.303	23626.227	23195.957	23626.221	23195.813	77.5
78.5	23376.168	22948.603	23638.540	23208.211	23638.542	23208.065	78.5
79.5	23389.694	22961.060	23651.024	23220.619	23651.018	23220.471	79.5
80.5	23403.384	22973.573	23663.561	23233.182	23663.559	23233.032	80.5
81.5	23417.214	22986.137	23676.144	23245.797	23676.144	23245.479	81.5
82.5	23431.197	22998.759	23688.776	23258.462	23688.776	23258.926	82.5
83.5	23445.327	23011.436	23701.453	23271.177	23701.453	23271.373	83.5
84.5	23459.603	23024.165	23714.182	23283.932	23714.182	23283.820	84.5
85.5	23474.025	23036.944	23726.961	23296.737	23726.961	23296.267	85.5
86.5	23488.594	23049.773	23739.790	23309.582	23739.790	23309.714	86.5
87.5	23503.312	23062.652	23752.669	23322.477	23752.669	23322.161	87.5
88.5	23518.080	23075.581	23765.608	23335.416	23765.608	23335.608	88.5
89.5	23532.998	23088.560	23778.607	23348.405	23778.607	23348.954	89.5
90.5	23548.066	23101.599	23791.666	23361.444	23791.666	23361.901	90.5
91.5	23563.284	23114.698	23804.785	23374.533	23804.785	23374.848	91.5
92.5	23578.652	23127.857	23817.964	23387.672	23817.964	23387.793	92.5
93.5	23594.170	23141.076	23831.203	23400.871	23831.203	23400.734	93.5
94.5	23609.838	23154.355	23844.502	23414.120	23844.502	23414.583	94.5
95.5	23625.656	23167.694	23857.861	23427.429	23857.861	23427.932	95.5
96.5	23641.624	23181.093	23871.280	23440.798	23871.280	23440.985	96.5
97.5	23657.742	23194.552	23884.759	23454.227	23884.759	23454.932	97.5
98.5	23674.010	23208.071	23898.298	23467.716	23898.298	23467.879	98.5
99.5	23690.428	23221.650	23911.897	23481.265	23911.897	23481.826	99.5
100.5	23707.096	23236.289	23925.556	23494.874	23925.556	23494.773	100.5
101.5	23723.914	23250.988	23939.275	23508.543	23939.275	23508.720	101.5
102.5	23740.882	23265.747	23953.054	23522.272	23953.054	23522.667	102.5
103.5	23758.000	23279.566	23966.893	23536.059	23966.893	23536.614	103.5
104.5	23775.268	23293.445	23980.792	23549.908	23980.792	23549.561	104.5
105.5	23792.686	23307.384	23994.751	23563.817	23994.751	23563.508	105.5
106.5	23810.254	23321.383	24008.770	23577.786	24008.770	23577.455	106.5
107.5	23827.872	23336.442	24023.849	23591.815	24023.849	23591.402	107.5
108.5	23845.540	23351.561	24038.988	23605.904	24038.988	23605.349	108.5
109.5	23863.258	23366.740	24054.187	23620.053	24054.187	23620.296	109.5
110.5	23881.026	23382.079	24069.446	23634.262	24069.446	23634.543	110.5
111.5	23898.844	23397.478	24084.765	23648.531	24084.765	23648.794	111.5
112.5	23916.712	23412.937	24100.144	23662.860	24100.144	23662.945	112.5
113.5	23934.630	23428.456	24115.583	23677.259	24115.583	23677.196	113.5
114.5	23952.608	23444.035	24131.082	23691.718	24131.082	23691.447	114.5
115.5	23970.646	23459.674	24146.641	23706.237	24146.641	23706.194	115.5
116.5	23988.744	23475.373	24162.260	23720.816	24162.260	23720.741	116.5
117.5	24006.902	23491.132	24177.939	23735.455	24177.939	23735.496	117.5
118.5	24025.120	23507.951	24193.572	23750.154	24193.572	23750.547	118.5
119.5	24043.408	23524.830	24209.765	23764.913	24209.765	23764.798	119.5
120.5	24061.766	23541.769	24226.518	23779.732	24226.518	23779.749	120.5
121.5	24080.194	23558.768	24243.831	23794.611	24243.831	23794.700	121.5
122.5	24098.692	23575.827	24260.704	23809.550	24260.704	23809.751	122.5
123.5	24117.260	23592.946	24278.137	23824.549	24278.137	23824.702	123.5
124.5	24135.898	23609.125	24295.130	23839.608	24295.130	23839.753	124.5
125.5	24154.606	23625.364	24311.683	23854.727	24311.683	23854.804	125.5
126.5	24173.384	23641.663	24327.894	23869.906	24327.894	23869.855	126.5
127.5	24192.232	23658.022	24343.761	23885.145	24343.761	23885.106	127.5
128.5	24211.150	23674.441	24359.284	23899.444	24359.284	23899.357	128.5
129.5	24230.138	23690.920	24374.561	23913.803	24374.561	23913.608	129.5
130.5	24249.196	23707.459	24389.594	23928.222	24389.594	23928.359	130.5
131.5	24268.324	23724.058	24404.381	23942.701	24404.381	23942.610	131.5
132.5	24287.522	23740.717	24418.920	23957.240	24418.920	23957.161	132.5
133.5	24306.790	23757.436	24433.219	23971.839	24433.219	23971.712	133.5
134.5	24326.128	23774.215	24447.278	23986.498	24447.278	23986.263	134.5
135.5	24345.536	23791.054	24461.097	23999.217	24461.097	23999.014	135.5
136.5	24365.014	23807.953	24474.676	24011.996	24474.676	24011.765	136.5
137.5	24384.562	23824.912	24488.015	24024.835	24488.015	24024.534	137.5
138.5	24404.180	23841.931	24501.114	24037.734	24501		

25.5	23463.554	23032.675	23463.554	23032.674	23724.462	23290.881	25.5
26.5	23467.713	23036.812	23467.713	23036.759	23728.805	23295.002	26.5
27.5	23472.030	23041.106	23472.030	23041.051	23733.104	23299.278	27.5
28.5	23476.503	23045.555	23476.503	23045.498	23737.560	23303.710	28.5
29.5	23481.133	23050.161	23481.133	23050.102	23742.171	23308.297	29.5
30.5	23485.920	23054.922	23485.920	23054.861	23746.939	23313.040	30.5
31.5	23490.891	23059.839	23490.891	23059.778	23751.766	23317.915	31.5
32.5	23495.963	23064.912	23495.963	23064.847	23756.649	23322.990	32.5
33.5	23501.220	23070.141	23501.220	23070.074	23761.582	23328.198	33.5
34.5	23506.633	23075.525	23506.633	23075.456	23766.570	23333.561	34.5
35.5	23512.203	23081.065	23512.203	23080.995	23771.613	23339.079	35.5
36.5	23517.930	23086.761	23517.930	23086.689	23776.722	23344.752	36.5
37.5	23523.813	23092.613	23523.813	23092.538	23781.897	23350.588	37.5
38.5	23529.853	23098.622	23529.853	23098.542	23787.136	23356.592	38.5
39.5	23536.049	23104.783	23536.049	23104.705	23792.437	23362.763	39.5
40.5	23542.401	23111.102	23542.401	23111.021	23800.197	23369.096	40.5
41.5	23548.911	23117.576	23548.911	23117.494	23809.680	23375.445	41.5
42.5	23555.576	23124.206	23555.576	23124.122	23816.320	23382.048	42.5
43.5	23562.398	23130.991	23562.398	23130.905	23823.115	23388.807	43.5
44.5	23569.377	23137.932	23569.377	23137.844	23830.065	23395.720	44.5
45.5	23576.511	23145.021	23576.511	23144.933	23837.172	23402.788	45.5
46.5	23583.802	23152.260	23583.802	23152.180	23844.434	23410.011	46.5
47.5	23591.250	23159.687	23591.250	23159.593	23851.852	23417.388	47.5
48.5	23598.853	23167.249	23598.853	23167.154	23859.425	23424.921	48.5
49.5	23606.613	23174.967	23606.613	23174.870	23867.154	23432.608	49.5
50.5	23614.529	23182.840	23614.529	23182.741	23875.038	23440.450	50.5
51.5	23622.601	23190.869	23622.601	23190.767	23883.079	23448.446	51.5
52.5	23630.829	23199.052	23630.829	23198.949	23891.274	23456.597	52.5
53.5	23639.216	23207.389	23639.216	23207.282	23900.111	23464.903	53.5
54.5	23647.754	23215.885	23647.754	23215.778	23908.311	23473.363	54.5
55.5	23656.450	23224.534	23656.450	23224.425	23916.793	23481.978	55.5
56.5	23665.302	23233.339	23665.302	23233.228	23925.610	23490.747	56.5
57.5	23674.310	23242.298	23674.310	23242.185	23934.583	23499.670	57.5
58.5	23683.474	23251.412	23683.474	23251.297	23943.710	23508.748	58.5
59.5	23692.794	23260.681	23692.794	23260.565	23953.993	23517.981	59.5
60.5	23702.270	23270.106	23702.270	23269.987	23964.431	23527.367	60.5
61.5	23711.901	23279.685	23711.901	23279.564	23975.024	23536.900	61.5
62.5	23721.688	23289.419	23721.688	23289.296	23985.772	23546.603	62.5
63.5	23731.631	23299.307	23731.628	23299.183	23996.676	23556.453	63.5
64.5	23741.729	23309.351	23741.726	23309.224	24001.734	23566.456	64.5
65.5	23751.983	23319.549	23751.980	23319.421	24011.947	23576.613	65.5
66.5	23762.393	23329.902	23762.389	23329.772	24022.315	23586.925	66.5
67.5	23772.958	23340.409	23772.954	23340.271	24032.838	23597.390	67.5
68.5	23783.678	23351.071	23783.674	23350.931	24043.516	23608.010	68.5
69.5	23794.554	23361.887	23794.550	23361.752	24054.348	23618.783	69.5
70.5	23805.585	23372.858	23805.581	23372.721	24065.336	23629.710	70.5
71.5	23816.771	23383.984	23816.767	23383.804	24076.477	23640.791	71.5
72.5	23828.113	23395.263	23828.108	23395.122	24087.774	23652.026	72.5
73.5	23839.610	23406.697	23839.605	23406.554	24099.225	23663.414	73.5
74.5	23851.262	23418.286	23851.257	23418.141	24110.831	23674.956	74.5
75.5	23863.078	23430.034	23863.073	23430.891	24122.592	23686.652	75.5
76.5	23875.031	23441.925	23875.025	23441.776	24134.505	23698.501	76.5
77.5	23887.149	23453.976	23887.142	23453.825	24146.574	23710.504	77.5
78.5	23899.420	23466.181	23899.414	23466.028	24158.797	23722.660	78.5
79.5	23911.847	23478.539	23911.840	23478.385	24171.174	23734.969	79.5
80.5	23924.429	23491.052	23924.422	23490.896	24183.706	23747.432	80.5
81.5	23937.163	23503.719	23937.156	23503.561	24196.391	23760.048	81.5
82.5	23950.058	23516.544	23950.051	23516.380	24209.227	23772.812	82.5
83.5	23963.102	23529.514	23963.094	23529.352	24222.225	23785.739	83.5
84.5	23976.302	23542.642	23976.294	23542.478	24235.373	23798.815	84.5
85.5	23989.657	23555.923	23989.649	23555.758	24248.674	23812.043	85.5
86.5	24003.166	23569.359	24003.158	23569.192	24262.130	23825.425	86.5
87.5	24016.830	23582.947	24016.821	23582.779	24275.739	23838.959	87.5
88.5	24030.648	23596.690	24030.639	23596.519	24289.502	23852.646	88.5
89.5	24044.621	23610.585	24044.611	23610.413	24303.424	23866.482	89.5
90.5	24058.747	23624.634	24058.738	23624.460	24317.489	23880.479	90.5

157.5	25352.628	24911.320	25352.582	24911.031	25606.158	25161.960	157.5
158.5	25377.057	24935.612	25377.010	24935.320	25630.488	25186.152	158.5
159.5	25401.634	24960.050	25401.586	24959.577	25654.985	25210.491	159.5
160.5	25426.359	24984.636	25426.310	24984.341	25679.589	25234.976	160.5
161.5	25451.232	25009.369	25451.183	25009.073	25704.361	25259.609	161.5
162.5	25476.159	25034.256	25476.110	25033.964	25729.282	25284.286	162.5
163.5	25501.142	25059.276	25501.091	25058.974	25754.346	25309.311	163.5
164.5	25526.180	25084.450	25526.128	25084.148	25779.560	25334.381	164.5
165.5	25552.202	25109.770	25552.150	25109.466	25804.926	25359.598	165.5
166.5	25577.814	25135.237	25577.761	25134.932	25830.427	25384.961	166.5
167.5	25603.572	25160.850	25603.519	25160.543	25856.081	25410.469	167.5
168.5	25629.478	25186.612	25629.424	25186.301	25881.881	25436.123	168.5
169.5	25655.519	25212.516	25655.463	25212.205	25907.824	25461.923	169.5
170.5	25681.731	25238.568	25681.675	25238.255	25933.921	25487.868	170.5
171.5	25708.078	25264.765	25708.022	25264.451	25960.100	25513.950	171.5
172.5	25734.571	25291.109	25734.514	25290.793	25986.545	25540.193	172.5
173.5	25761.212	25317.598	25761.154	25317.280	26013.076	25566.574	173.5
174.5	25787.998	25344.233	25787.940	25343.913	26039.553	25593.199	174.5
175.5	25814.931	25371.014	25814.872	25370.692	26066.576	25619.770	175.5
176.5	25842.024	25397.939	25842.061	25397.615	26093.544	25646.589	176.5
177.5	25869.266	25425.010	25869.203	25425.684	26120.168	25673.544	177.5
178.5	25896.607	25452.226	25896.546	25451.899	26147.198	25700.648	178.5
179.5	25924.124	25479.587	25924.062	25479.257	26174.322	25727.897	179.5

0.5	23238.364	0.000	23495.294	0.000	23495.292	0.000	0.5
1.5	23672.116	23238.597	23931.941	23495.528	23931.941	23495.524	1.5
2.5	23672.507	23238.985	23932.331	23495.916	23932.331	23495.910	2.5
3.5	23673.054	23239.528	23932.876	23496.460	23932.876	23496.451	3.5
4.5	23673.758	23240.227	23933.577	23497.158	23933.577	23497.147	4.5
5.5	23674.619	23241.082	23934.434	23498.011	23934.434	23497.990	5.5
6.5	23675.635	23242.092	23935.447	23499.019	23935.447	23499.004	6.5
7.5	23676.809	23243.257	23936.616	23500.182	23936.616	23500.165	7.5
8.5	23678.138	23244.578	23937.940	23501.504	23937.940	23501.481	8.5
9.5	23679.624	23246.055	23939.420	23502.973	23939.420	23502.952	9.5
10.5	23681.266	23247.687	23941.056	23504.601	23941.056	23504.578	10.5
11.5	23683.065	23249.475	23942.847	23506.384	23942.847	23506.358	11.5
12.5	23685.020	23251.418	23944.795	23508.321	23944.795	23508.294	12.5
13.5	23687.132	23253.517	23946.898	23510.414	23946.898	23510.384	13.5
14.5	23689.399	23255.771	23949.157	23512.663	23949.156	23512.629	14.5
15.5	23691.824	23258.181	23951.571	23515.164	23951.571	23515.129	15.5
16.5	23694.404	23260.746	23954.141	23517.821	23954.141	23517.594	16.5
17.5	23697.141	23263.467	23956.867	23520.623	23956.867	23520.294	17.5
18.5	23700.034	23266.343	23959.749	23523.199	23959.749	23523.159	18.5
19.5	23703.083	23269.375	23962.786	23526.221	23962.786	23526.170	19.5
20.5	23706.289	23272.562	23965.979	23529.397	23965.979	23529.350	20.5
21.5	23709.651	23275.904	23969.328	23532.728	23969.328	23532.681	21.5
22.5	23713.178	23279.401	23972.825	23536.211	23972.825	23536.146	22.5
23.5	23716.844	23283.055	23976.472	23539.855	23976.472	23539.800	23.5
24.5	23						

15

16

105.5	24566.912	24108.443	24803.261	24362.094	24803.244	24361.877	105.5
106.5	24563.430	24124.868	24819.714	24378.055	24819.696	24378.236	106.5
107.5	24580.101	24141.315	24836.931	24394.968	24836.931	24394.968	107.5
108.5	24596.924	24158.173	24853.073	24411.629	24853.054	24411.407	108.5
109.5	24613.899	24175.053	24869.991	24428.442	24869.961	24428.218	109.5
110.5	24631.026	24192.084	24887.400	24445.407	24887.020	24445.181	110.5
111.5	24649.306	24209.267	24904.250	24462.521	24904.230	24462.294	111.5
112.5	24667.737	24226.600	24921.612	24479.787	24921.591	24479.557	112.5
113.5	24686.321	24244.085	24939.125	24497.202	24939.104	24496.979	113.5
114.5	24705.059	24261.732	24956.699	24514.765	24956.699	24514.539	114.5
115.5	24718.943	24279.507	24974.606	24532.485	24974.583	24532.250	115.5
116.5	24736.982	24297.444	24992.572	24550.351	24992.549	24550.114	116.5
117.5	24755.172	24315.532	25010.690	24568.360	25010.666	24568.129	117.5
118.5	24773.514	24333.771	25028.959	24586.535	25028.934	24586.294	118.5
119.5	24792.008	24352.162	25047.378	24604.852	25047.353	24604.609	119.5
120.5	24810.653	24370.701	25066.948	24623.318	25066.923	24623.074	120.5
121.5	24829.449	24389.391	25086.669	24641.765	25086.669	24641.539	121.5
122.5	24848.396	24408.232	25103.541	24660.701	25103.514	24660.453	122.5
123.5	24867.495	24427.223	25122.563	24679.617	25122.535	24679.367	123.5
124.5	24886.744	24446.364	25141.736	24698.662	25141.707	24698.431	124.5
125.5	24906.145	24465.655	25161.058	24717.897	25161.029	24717.644	125.5
126.5	24925.696	24485.096	25180.531	24737.261	25180.502	24737.006	126.5
127.5	24945.398	24504.687	25200.155	24756.774	25200.124	24756.518	127.5
128.5	24965.251	24524.428	25219.928	24776.437	25219.897	24776.179	128.5
129.5	24985.259	24544.329	25239.849	24796.250	25239.818	24796.000	129.5
130.5	25005.408	24564.359	25259.928	24816.209	25259.897	24816.047	130.5
131.5	25025.713	24584.549	25280.147	24836.319	25280.114	24836.051	131.5
132.5	25046.167	24604.809	25300.520	24856.577	25300.486	24856.312	132.5
133.5	25066.772	24625.377	25321.042	24876.985	25321.007	24876.717	133.5
134.5	25087.527	24646.015	25341.714	24897.540	25341.678	24897.271	134.5
135.5	25108.433	24666.803	25362.536	24918.245	25362.499	24917.974	135.5
136.5	25129.488	24687.739	25383.505	24939.097	25383.468	24938.825	136.5
137.5	25150.693	24708.824	25404.625	24960.099	25404.588	24959.839	137.5
138.5	25172.047	24730.058	25425.894	24981.248	25425.856	24980.972	138.5
139.5	25193.552	24751.441	25447.312	25004.546	25447.273	25002.268	139.5
140.5	25215.205	24772.973	25468.879	25023.991	25468.839	25023.712	140.5
141.5	25237.009	24794.653	25490.595	25045.585	25490.544	25045.303	141.5
142.5	25258.962	24816.481	25512.459	25067.326	25512.417	25067.043	142.5
143.5	25281.064	24838.458	25534.472	25089.215	25534.430	25089.931	143.5
144.5	25303.310	24860.584	25556.634	25111.252	25556.591	25110.966	144.5
145.5	25325.715	24882.857	25578.944	25133.436	25578.900	25133.148	145.5
146.5	25348.264	24905.279	25601.402	25155.768	25601.357	25155.478	146.5
147.5	25370.962	24927.848	25624.009	25178.247	25623.963	25177.956	147.5
148.5	25393.809	24950.566	25646.763	25200.874	25646.717	25200.580	148.5
149.5	25416.805	24973.431	25669.666	25223.647	25669.619	25223.352	149.5
150.5	25439.949	24996.444	25692.717	25246.568	25692.669	25246.271	150.5
151.5	25463.241	25019.605	25715.928	25269.636	25715.867	25269.331	151.5
152.5	25486.680	25042.912	25739.262	25292.959	25739.212	25292.650	152.5
153.5	25510.266	25066.368	25762.756	25316.211	25762.705	25316.409	153.5
154.5	25534.009	25089.970	25786.397	25339.719	25786.364	25339.515	154.5
155.5	25557.894	25113.720	25810.186	25363.373	25810.134	25363.067	155.5
156.5	25581.927	25137.617	25834.122	25387.174	25834.069	25386.866	156.5
157.5	25606.108	25161.660	25858.205	25411.120	25858.151	25410.811	157.5
158.5	25630.437	25185.851	25882.435	25435.214	25882.381	25434.902	158.5
159.5	25654.910	25209.184	25906.819	25459.562	25906.729	25459.253	159.5
160.5	25679.537	25234.671	25931.336	25483.838	25931.280	25483.531	160.5
161.5	25704.308	25259.302	25956.007	25508.049	25955.950	25508.052	161.5
162.5	25729.226	25284.078	25980.825	25533.045	25980.767	25532.727	162.5
163.5	25754.292	25309.001	26005.788	25557.867	26005.730	25557.547	163.5
164.5	25779.504	25334.070	26030.899	25582.835	26030.839	25582.513	164.5
165.5	25804.863	25359.285	26056.155	25607.948	26056.095	25607.625	165.5
166.5	25830.370	25384.644	26081.567	25633.307	26081.490	25633.022	166.5
167.5	25856.023	25410.152	26107.107	25658.910	26107.044	25658.628	167.5
168.5	25881.822	25435.804	26132.801	25684.559	26132.738	25684.829	168.5
169.5	25907.768	25461.602	26158.642	25710.852	26158.578	25709.521	169.5
170.5	25933.860	25487.545	26184.628	25735.690	26184.563	25735.357	170.5

53.5	24415.984	23975.476	24415.981	23975.357	24671.944	24228.549	53.5
54.5	24424.422	23983.868	24424.420	23983.747	24680.349	24236.908	54.5
55.5	24433.313	23992.391	24433.311	23992.270	24688.941	24245.420	55.5
56.5	24441.762	24001.113	24441.760	24001.000	24697.988	24254.619	56.5
57.5	24450.663	24009.966	24450.660	24009.853	24706.484	24262.901	57.5
58.5	24459.718	24018.971	24459.715	24018.842	24715.503	24271.810	58.5
59.5	24468.927	24028.130	24468.924	24027.998	24724.675	24280.992	59.5
60.5	24478.290	24037.441	24478.286	24037.308	24733.000	24290.266	60.5
61.5	24487.806	24046.906	24487.803	24046.770	24741.479	24299.692	61.5
62.5	24497.477	24056.523	24497.474	24056.386	24750.119	24309.271	62.5
63.5	24507.301	24066.294	24507.297	24066.154	24758.825	24319.002	63.5
64.5	24517.279	24076.217	24517.275	24076.075	24767.833	24328.886	64.5
65.5	24527.411	24086.293	24527.407	24086.149	24777.129	24338.922	65.5
66.5	24537.697	24096.522	24537.692	24096.376	24786.925	24349.109	66.5
67.5	24548.136	24106.904	24548.131	24106.758	24796.016	24359.449	67.5
68.5	24558.728	24117.439	24558.723	24117.289	24804.566	24369.941	68.5
69.5	24569.477	24128.126	24569.472	24127.973	24813.619	24380.585	69.5
70.5	24580.374	24138.965	24580.369	24138.818	24823.355	24391.382	70.5
71.5	24591.427	24149.958	24591.421	24149.801	24833.684	24402.329	71.5
72.5	24602.634	24161.102	24602.627	24161.044	24843.585	24413.429	72.5
73.5	24613.993	24172.400	24613.987	24172.239	24853.969	24424.681	73.5
74.5	24625.506	24183.849	24625.500	24183.686	24864.826	24436.084	74.5
75.5	24637.172	24195.451	24637.166	24195.286	24876.166	24447.640	75.5
76.5	24648.992	24207.205	24648.985	24207.038	24887.979	24459.346	76.5
77.5	24660.969	24219.112	24660.962	24218.943	24899.273	24471.205	77.5
78.5	24673.090	24231.170	24673.082	24230.999	24910.948	24483.215	78.5
79.5	24685.368	24243.381	24685.360	24243.200	24923.074	24495.376	79.5
80.5	24697.800	24255.744	24697.791	24255.569	24935.629	24507.689	80.5
81.5	24710.384	24268.259	24710.375	24268.082	24948.612	24520.153	81.5
82.5	24723.121	24280.926	24723.112	24280.746	24962.077	24532.769	82.5
83.5	24736.011	24293.744	24736.002	24293.563	24975.990	24545.536	83.5
84.5	24749.054	24306.715	24749.044	24306.532	24990.376	24558.454	84.5
85.5	24762.249	24319.831	24762.239	24319.652	25005.319	24571.524	85.5
86.5	24775.597	24333.111	24775.586	24332.924	25020.811	24584.744	86.5
87.5	24789.097	24346.537	24789.086	24346.348	25036.859	24598.115	87.5
88.5	24802.750	24360.114	24802.739	24359.923	25053.567	24611.638	88.5
89.5	24816.555	24373.843	24816.544	24373.650	25070.906	24625.311	89.5
90.5	24830.513	24387.723	24830.501	24387.528	25088.906	24639.135	90.5
91.5	24844.623	24401.755	24844.610	24401.558	25098.861	24653.110	91.5
92.5	24858.885	24415.938	24858.872	24415.739	25110.625	24667.236	92.5
93.5	24873.299	24430.272	24873.286	24430.071	25123.422	24681.512	93.5
94.5	24887.865	24444.758	24887.852	24444.555	25137.249	24695.939	94.5
95.5	24902.584	24459.394	24902.570	24459.189	25152.109	24710.516	95.5
96.5	24917.454	24474.182	24917.440	24473.975	25167.111	24725.244	96.5
97.5	24932.476	24489.121	24932.462	24488.912	25182.306	24740.123	97.5
98.5	24947.650	24504.211	24947.635	24504.000	25197.601	24755.151	98.5
99.5	24962.976	24519.451	24962.960	24519.238	25213.077	24770.330	99.5
100.5	2497						

1.5	24447.145	24004.943	24702.535	24257.453	24702.535	24257.448	1.5
2.5	24447.531	24005.326	24702.920	24257.837	24702.920	24257.830	2.5
3.5	24448.072	24005.863	24703.458	24258.374	24703.458	24258.364	3.5
4.5	24448.768	24006.553	24704.151	24259.064	24704.151	24259.052	4.5
5.5	24449.618	24007.398	24704.998	24259.907	24704.998	24259.893	5.5
6.5	24450.622	24008.396	24705.999	24260.903	24705.999	24260.887	6.5
7.5	24451.782	24009.547	24707.153	24262.055	24707.153	24262.038	7.5
8.5	24453.090	24010.952	24708.474	24263.367	24708.474	24263.350	8.5
9.5	24454.564	24012.311	24709.924	24264.810	24709.924	24264.784	9.5
10.5	24456.186	24013.924	24711.540	24266.419	24711.540	24266.393	10.5
11.5	24457.964	24015.690	24713.310	24268.180	24713.310	24268.152	11.5
12.5	24459.895	24017.610	24715.335	24270.095	24715.335	24270.064	12.5
13.5	24461.982	24019.684	24717.313	24272.162	24717.313	24272.129	13.5
14.5	24464.223	24021.911	24719.544	24274.304	24719.544	24274.261	14.5
15.5	24466.628	24024.292	24722.157	24276.521	24722.157	24276.478	15.5
16.5	24469.168	24028.826	24724.470	24278.828	24724.470	24278.785	16.5
17.5	24471.872	24034.514	24727.163	24281.963	24727.163	24281.920	17.5
18.5	24474.731	24041.356	24730.010	24284.795	24730.010	24284.750	18.5
19.5	24477.744	24049.351	24733.012	24287.781	24733.012	24287.733	19.5
20.5	24480.911	24058.500	24736.166	24290.919	24736.166	24290.869	20.5
21.5	24484.233	24068.802	24739.475	24294.210	24739.475	24294.158	21.5
22.5	24487.714	24080.258	24742.938	24297.657	24742.938	24297.602	22.5
23.5	24491.341	24092.867	24746.554	24301.252	24746.554	24301.195	23.5
24.5	24495.126	24106.630	24750.324	24305.002	24750.324	24304.942	24.5
25.5	24499.065	24121.546	24754.248	24308.905	24754.248	24308.843	25.5
26.5	24503.159	24137.616	24758.325	24312.961	24758.325	24312.896	26.5
27.5	24507.407	24154.839	24762.556	24317.169	24762.556	24317.102	27.5
28.5	24511.809	24173.216	24766.941	24321.531	24766.941	24321.461	28.5
29.5	24516.366	24192.747	24771.479	24326.045	24771.479	24325.973	29.5
30.5	24521.079	24218.432	24776.174	24330.711	24776.174	24330.638	30.5
31.5	24525.942	24248.266	24781.011	24335.531	24781.011	24335.455	31.5
32.5	24530.961	24283.257	24786.016	24340.504	24786.016	24340.425	32.5
33.5	24536.135	24323.400	24791.169	24345.629	24791.169	24345.548	33.5
34.5	24541.462	24368.697	24796.475	24350.907	24796.475	24350.823	34.5
35.5	24546.944	24419.147	24801.935	24356.337	24801.935	24356.251	35.5
36.5	24552.580	24474.900	24807.549	24361.920	24807.549	24361.832	36.5
37.5	24558.370	24536.007	24813.315	24367.656	24813.315	24367.565	37.5
38.5	24564.314	24601.417	24819.236	24373.544	24819.236	24373.451	38.5
39.5	24570.412	24671.148	24825.309	24379.585	24825.309	24379.490	39.5
40.5	24576.664	24745.193	24831.536	24385.770	24831.536	24385.681	40.5
41.5	24583.070	24823.546	24837.912	24392.124	24837.912	24392.024	41.5
42.5	24589.630	24916.218	24844.451	24398.622	24844.451	24398.520	42.5
43.5	24596.344	24915.262	24851.138	24405.273	24851.138	24405.169	43.5
44.5	24603.212	24926.091	24857.978	24412.076	24857.978	24411.969	44.5
45.5	24610.234	24942.922	24864.971	24419.031	24864.971	24418.922	45.5
46.5	24617.409	24965.766	24872.118	24426.139	24872.118	24426.028	46.5
47.5	24624.736	24994.619	24879.418	24433.399	24879.418	24433.286	47.5
48.5	24632.221	25029.484	24886.871	24440.812	24886.871	24440.696	48.5
49.5	24639.858	25069.362	24894.477	24448.376	24894.477	24448.259	49.5
50.5	24647.648	25114.262	24902.237	24456.093	24902.237	24455.973	50.5
51.5	24655.592	25164.177	24910.149	24463.962	24910.149	24463.836	51.5
52.5	24663.690	25214.102	24918.214	24472.981	24918.214	24472.845	52.5
53.5	24671.941	25264.138	24926.432	24480.156	24926.432	24480.029	53.5
54.5	24680.346	25312.282	24934.803	24488.482	24934.803	24488.352	54.5
55.5	24688.904	25359.529	24943.327	24496.959	24943.327	24496.827	55.5
56.5	24697.616	25402.954	24952.004	24505.588	24952.004	24505.454	56.5
57.5	24706.481	25442.569	24960.834	24513.369	24960.834	24513.233	57.5
58.5	24715.499	25482.376	24969.816	24521.302	24969.816	24521.163	58.5
59.5	24724.669	25523.382	24978.951	24531.398	24978.951	24531.268	59.5
60.5	24733.996	25564.529	24988.239	24541.624	24988.239	24541.481	60.5
61.5	24743.475	25606.822	24997.680	24551.013	24997.680	24550.867	61.5
62.5	24753.106	25651.269	25007.273	24560.553	25007.273	24560.403	62.5
63.5	24762.891	25696.879	25017.018	24570.245	25017.018	24570.094	63.5
64.5	24772.829	25744.566	25026.916	24580.080	25026.916	24580.936	64.5
65.5	24782.920	25793.342	25036.967	24589.083	25036.967	24589.929	65.5
66.5	24793.164	25843.218	25047.170	24600.230	25047.170	24600.073	66.5

133.5	25825.046	25374.980	26074.904	25622.209	26074.863	25622.194	133.5
134.5	25845.550	25395.366	26095.324	25642.514	26095.282	25642.217	134.5
135.5	25866.201	25415.900	26115.892	25662.965	26115.849	25662.667	135.5
136.5	25887.000	25436.581	26136.607	25683.563	26136.564	25683.263	136.5
137.5	25907.948	25457.409	26157.470	25704.307	26157.425	25704.005	137.5
138.5	25929.043	25478.384	26178.480	25725.198	26178.434	25724.894	138.5
139.5	25950.287	25499.514	26199.624	25746.235	26199.580	25745.929	139.5
140.5	25971.677	25520.794	26220.914	25767.411	26220.914	25767.110	140.5
141.5	25993.215	25544.189	26242.392	25788.747	26242.392	25788.437	141.5
142.5	26014.901	25568.691	26263.990	25810.222	26263.940	25810.919	142.5
143.5	26036.734	25594.296	26285.734	25831.843	26285.684	25831.530	143.5
144.5	26058.714	25620.915	26307.625	25853.610	26307.574	25853.294	144.5
145.5	26080.841	25648.643	26329.663	25875.525	26329.611	25875.205	145.5
146.5	26103.116	25677.482	26351.847	25897.580	26351.794	25897.261	146.5
147.5	26125.538	25707.427	26374.178	25919.783	26374.124	25919.462	147.5
148.5	26148.106	25738.476	26396.655	25942.132	26396.600	25942.109	148.5
149.5	26170.821	25769.631	26419.278	25964.626	26419.222	25964.301	149.5
150.5	26193.683	25800.891	26442.047	25987.265	26442.989	25987.939	150.5
151.5	26216.695	25833.359	26464.961	26010.049	26464.903	26010.721	151.5
152.5	26239.846	25866.937	26488.022	26032.978	26488.963	26033.648	152.5
153.5	26263.147	25901.626	26512.151	26056.052	26511.168	26056.722	153.5
154.5	26286.595	25937.432	26536.450	26079.271	26534.519	26079.934	154.5
155.5	26311.188	25974.355	26560.915	26102.726	26558.016	26102.299	155.5
156.5	26335.928	26012.392	26585.541	26127.424	26581.575	26127.000	156.5
157.5	26360.821	26049.640	26611.361	26153.361	26605.594	26153.000	157.5
158.5	26385.868	26087.195	26637.335	26179.539	26629.672	26179.189	158.5
159.5	26411.070	26124.956	26663.562	26205.956	26653.909	26205.720	159.5
160.5	26436.427	26162.925	26690.041	26231.625	26678.306	26231.481	160.5
161.5	26461.940	26203.104	26716.764	26257.546	26702.863	26257.342	161.5
162.5	26487.609	26244.593	26743.663	26282.719	26727.580	26282.543	162.5
163.5	26513.434	26291.292	26770.312	26308.144	26752.451	26308.204	163.5
164.5	26539.415	26340.201	26796.711	26333.825	26777.272	26333.965	164.5
165.5	26565.552	26391.320	26822.860	26359.856	26802.143	26359.626	165.5
166.5	26591.845	26443.659	26848.759	26386.245	26827.064	26386.787	166.5
167.5	26618.294	26498.216	26874.408	26413.084	26851.935	26413.548	167.5
168.5	26644.907	26554.991	26900.807	26440.273	26876.856	26440.609	168.5
169.5	26671.684	26614.010	26927.946	26467.812	26901.827	26467.670	169.5
170.5	26698.625	26675.279	26954.835	26495.691	26926.848	26496.691	170.5
171.5	26725.730	26740.808	26982.474	26525.910	26951.929	26525.952	171.5
172.5	26752.999	26809.597	27010.863	26556.469	26977.170	26556.603	172.5
173.5	26780.432	26881.746	27040.002	26592.358	27002.481	26592.744	173.5
174.5	26808.029	26957.265	27070.891	26628.177	27027.842	26628.115	174.5
175.5	26835.782	27036.164	27103.530	26664.456	27053.353	26664.278	175.5
176.5	26863.691	27118.353	27137.919	26701.195	27078.914	26708.949	176.5
177.5	26892.754	27203.952	27174.058	26739.504	27104.625	26739.970	177.5
178.5	26922.971	27296.161	27211.947	26778.373	27130.446	26778.995	178.5
179.5	26954.350	27394.980	27251.586	26817.802	27156.377	26817.020	179.5

Table with 4 columns of numbers, ranging from 81.5 to 146.5 in the first column.

Table with 4 columns of numbers, ranging from 29.5 to 94.5 in the first column.

Table with 4 columns of numbers, ranging from 147.5 to 179.5 in the first column.

Table with 4 columns of numbers, ranging from 95.5 to 160.5 in the first column.

Table with 4 columns of numbers, ranging from 0.5 to 28.5 in the first column.

Table with 4 columns of numbers, ranging from 95.5 to 160.5 in the first column.

Table with 10 columns and 100 rows of numerical data. Includes column headers '0' and '1'.

Table with 10 columns and 100 rows of numerical data. Includes column headers '2' and '3'.

Table with 10 columns and 100 rows of numerical data. Includes column headers '4' and '5'.

Table with 10 columns and 100 rows of numerical data. Includes column headers '6' and '7'.

Table with 10 columns and 100 rows of numerical data. Includes column headers '8' and '9'.



57.5	20678.065	20278.480	20949.296	20546.883	20949.296	20546.820	57.5
58.5	20687.223	20287.588	20958.420	20555.958	20958.420	20555.894	58.5
59.5	20696.537	20296.852	20967.699	20565.188	20967.699	20565.123	59.5
60.5	20706.063	20306.377	20977.139	20574.577	20977.139	20574.513	60.5
61.5	20715.632	20315.844	20986.722	20583.110	20986.722	20583.048	61.5
62.5	20725.243	20325.456	20996.466	20591.803	20996.466	20591.735	62.5
63.5	20734.905	20335.123	21006.365	20600.656	21006.365	20600.583	63.5
64.5	20744.622	20344.856	21016.420	20609.566	21016.420	20609.483	64.5
65.5	20754.395	20354.644	21026.629	20618.534	21026.629	20618.451	65.5
66.5	20764.222	20364.487	21036.993	20627.561	21036.993	20627.479	66.5
67.5	20774.103	20374.385	21047.513	20636.646	21047.513	20636.561	67.5
68.5	20784.038	20384.338	21058.187	20645.789	21058.187	20645.706	68.5
69.5	20794.028	20394.346	21069.016	20654.990	21069.016	20654.907	69.5
70.5	20804.072	20404.409	21079.999	20664.250	21079.999	20664.167	70.5
71.5	20814.170	20414.527	21091.138	20673.569	21091.138	20673.486	71.5
72.5	20824.322	20424.699	21102.431	20682.946	21102.431	20682.863	72.5
73.5	20834.528	20434.925	21113.879	20692.381	21113.879	20692.298	73.5
74.5	20844.789	20445.206	21125.481	20701.873	21125.481	20701.790	74.5
75.5	20855.105	20455.542	21137.238	20711.421	21137.238	20711.338	75.5
76.5	20865.476	20465.933	21149.149	20721.025	21149.149	20720.942	76.5
77.5	20875.902	20476.379	21161.215	20730.685	21161.215	20730.599	77.5
78.5	20886.383	20486.879	21173.435	20740.400	21173.435	20740.314	78.5
79.5	20896.920	20497.433	21185.810	20749.170	21185.810	20749.084	79.5
80.5	20907.513	20508.042	21198.339	20758.005	21198.339	20757.819	80.5
81.5	20918.162	20518.706	21211.022	20766.905	21211.022	20766.730	81.5
82.5	20928.867	20529.425	21223.859	20775.870	21223.859	20775.745	82.5
83.5	20939.628	20540.198	21236.851	20784.900	21236.851	20784.815	83.5
84.5	20950.445	20551.025	21249.996	20794.000	21249.996	20793.915	84.5
85.5	20961.318	20561.906	21263.296	20803.169	21263.296	20803.020	85.5
86.5	20972.247	20572.840	21276.750	20812.407	21276.750	20812.312	86.5
87.5	20983.232	20583.827	21290.359	20821.704	21290.359	20821.609	87.5
88.5	20994.272	20594.867	21304.119	20831.060	21304.119	20830.957	88.5
89.5	21005.366	20605.959	21318.030	20840.475	21318.030	20840.372	89.5
90.5	21016.514	20617.103	21332.102	20849.948	21332.102	20849.845	90.5
91.5	21027.716	20628.300	21346.326	20859.479	21346.326	20859.376	91.5
92.5	21038.972	20639.550	21360.702	20869.067	21360.702	20868.964	92.5
93.5	21050.283	20650.853	21375.233	20878.713	21375.233	20878.600	93.5
94.5	21061.649	20662.209	21389.917	20888.416	21389.917	20888.303	94.5
95.5	21073.070	20673.618	21404.754	20898.176	21404.754	20898.063	95.5
96.5	21084.546	20685.079	21419.744	20908.000	21419.744	20907.847	96.5
97.5	21096.077	20696.592	21434.880	20917.887	21434.880	20917.720	97.5
98.5	21107.663	20708.158	21450.185	20927.837	21450.185	20927.710	98.5
99.5	21119.304	20719.785	21465.650	20937.849	21465.650	20937.722	99.5
100.5	21131.000	20731.464	21481.280	20947.923	21481.280	20947.806	100.5
101.5	21142.751	20743.195	21496.966	20958.059	21496.966	20957.942	101.5
102.5	21154.557	20755.078	21512.800	20968.257	21512.800	20968.140	102.5
103.5	21166.418	20767.002	21528.783	20978.507	21528.783	20978.390	103.5
104.5	21178.334	20779.077	21544.914	20988.809	21544.914	20988.692	104.5
105.5	21190.305	20791.302	21561.193	20999.163	21561.193	20999.076	105.5
106.5	21202.430	20803.677	21577.720	21009.569	21577.720	21009.452	106.5
107.5	21214.610	20816.302	21594.494	21019.927	21594.494	21019.810	107.5
108.5	21226.945	20829.077	21611.501	21030.337	21611.501	21030.220	108.5
109.5	21239.435	20841.902	21628.848	21040.799	21628.848	21040.682	109.5
110.5	21252.080	20854.877	21646.435	21051.313	21646.435	21051.196	110.5
111.5	21264.880	20867.902	21664.262	21061.880	21664.262	21061.763	111.5
112.5	21277.835	20881.077	21682.329	21072.500	21682.329	21072.383	112.5
113.5	21290.945	20894.302	21700.636	21083.173	21700.636	21083.056	113.5
114.5	21304.210	20907.677	21719.283	21093.900	21719.283	21093.783	114.5
115.5	21317.630	20921.202	21738.270	21104.680	21738.270	21104.563	115.5
116.5	21331.205	20934.877	21757.607	21115.510	21757.607	21115.396	116.5
117.5	21344.935	20948.602	21777.294	21126.390	21777.294	21126.273	117.5
118.5	21358.820	20962.477	21797.331	21137.320	21797.331	21137.203	118.5
119.5	21372.860	20976.402	21817.718	21148.300	21817.718	21148.183	119.5
120.5	21387.055	20990.477	21838.455	21159.330	21838.455	21159.266	120.5
121.5	21401.405	21004.602	21859.542	21170.410	21859.542	21170.343	121.5
122.5	21415.910	21018.877	21880.980	21181.540	21880.980	21181.463	122.5

5.5	20960.195	20556.256	20960.195	20556.250	21229.420	20822.600	5.5
6.5	20961.208	20557.264	20961.208	20557.256	21230.428	20823.604	6.5
7.5	20962.275	20558.326	20962.275	20558.314	21231.592	20824.761	7.5
8.5	20963.398	20559.449	20963.398	20559.437	21232.916	20826.074	8.5
9.5	20964.577	20560.636	20964.577	20560.624	21234.392	20827.540	9.5
10.5	20965.813	20561.887	20965.813	20561.875	21235.936	20829.161	10.5
11.5	20967.105	20571.200	20967.105	20571.188	21237.648	20830.936	11.5
12.5	20968.453	20580.575	20968.453	20580.563	21239.528	20832.865	12.5
13.5	20969.857	20590.010	20969.857	20590.000	21241.576	20834.949	13.5
14.5	20971.317	20600.500	20971.317	20600.488	21243.792	20837.189	14.5
15.5	20972.832	20611.055	20972.832	20611.043	21246.176	20839.578	15.5
16.5	20974.403	20621.675	20974.403	20621.663	21248.720	20842.125	16.5
17.5	20976.030	20632.360	20976.030	20632.348	21251.432	20844.825	17.5
18.5	20977.713	20643.110	20977.713	20643.098	21254.312	20847.680	18.5
19.5	20979.452	20653.925	20979.452	20653.913	21257.360	20850.689	19.5
20.5	20981.247	20664.805	20981.247	20664.793	21260.576	20853.852	20.5
21.5	20983.098	20675.750	20983.098	20675.638	21263.960	20857.175	21.5
22.5	20985.005	20686.760	20985.005	20686.645	21267.512	20860.660	22.5
23.5	20986.968	20697.835	20986.968	20697.750	21271.232	20864.312	23.5
24.5	20988.987	20708.975	20988.987	20708.890	21275.120	20868.046	24.5
25.5	20991.062	20720.180	20991.062	20720.095	21279.176	20871.979	25.5
26.5	20993.193	20731.450	20993.193	20731.365	21283.400	20876.067	26.5
27.5	20995.380	20742.785	20995.380	20742.700	21287.792	20880.309	27.5
28.5	20997.623	20754.185	20997.623	20754.100	21292.352	20884.705	28.5
29.5	20999.922	20765.650	20999.922	20765.565	21297.080	20889.259	29.5
30.5	21002.277	20777.180	21002.277	20777.095	21301.980	20893.979	30.5
31.5	21004.688	20788.775	21004.688	20788.690	21307.048	20898.871	31.5
32.5	21007.155	20800.435	21007.155	20800.350	21312.280	20903.930	32.5
33.5	21009.678	20812.160	21009.678	20812.075	21317.672	20909.266	33.5
34.5	21012.257	20823.950	21012.257	20823.865	21323.224	20914.836	34.5
35.5	21014.892	20835.805	21014.892	20835.720	21328.944	20920.640	35.5
36.5	21017.583	20847.725	21017.583	20847.630	21334.832	20926.672	36.5
37.5	21020.330	20859.710	21020.330	20859.615	21340.888	20932.924	37.5
38.5	21023.133	20871.760	21023.133	20871.670	21347.112	20939.396	38.5
39.5	21026.000	20883.875	21026.000	20883.775	21353.512	20946.088	39.5
40.5	21028.930	20896.055	21028.930	20896.000	21360.088	20952.992	40.5
41.5	21031.920	20908.290	21031.920	20908.235	21366.840	20960.016	41.5
42.5	21034.970	20920.580	21034.970	20920.525	21373.760	20967.160	42.5
43.5	21038.080	20932.925	21038.080	20932.870	21380.848	20974.432	43.5
44.5	21041.250	20945.325	21041.250	20945.270	21388.096	20981.832	44.5
45.5	21044.480	20957.780	21044.480	20957.725	21395.504	20989.360	45.5
46.5	21047.770	20970.290	21047.770	20970.235	21403.072	20997.016	46.5
47.5	21051.120	20982.855	21051.120	20982.800	21410.800	21004.792	47.5
48.5	21054.530	20995.475	21054.530	20995.420	21418.688	21012.696	48.5
49.5	21058.000	21008.150	21058.000	21008.095	21426.736	21020.720	49.5
50.5	21061.530	21020.880	21061.530	21020.825	21434.944	21028.864	50.5
51.5	21065.120	21033.670	21065.120	21033.615	21443.312	21037.120	51.5
52.5	21068.770	21046.520	21068.770	21046.465	21451.840	21045.584	52.5
5							

5

Table with 5 columns of numerical data, rows 137-199.

6

Table with 5 columns of numerical data, rows 85-199.

6

Table with 5 columns of numerical data, rows 0.5-19.5.

7

Table with 5 columns of numerical data, rows 0.5-19.5.

19.5

Table with 5 columns of numerical data, rows 19.5-84.5.

151.5

Table with 5 columns of numerical data, rows 151.5-179.5.

5

Table with 5 columns of numerical data, rows 0.5-84.5.

8

Table with 5 columns of numerical data, rows 0.5-32.5.

9

Table with 5 columns of numerical data, rows 0.5-32.5.

33.5	21849.613	21436.598	21849.613	21436.551	22114.077	21698.186	33.5
34.5	21854.921	21441.877	21854.921	21441.829	22119.365	21703.455	34.5
35.5	21860.382	21447.310	21860.382	21447.260	22124.805	21708.867	35.5
36.5	21865.997	21452.895	21865.997	21452.844	22130.399	21714.431	36.5
37.5	21871.765	21458.633	21871.765	21458.580	22136.145	21720.147	37.5
38.5	21877.687	21464.523	21877.687	21464.470	22142.045	21726.015	38.5
39.5	21883.762	21470.567	21883.762	21470.511	22148.097	21732.035	39.5
40.5	21889.991	21476.764	21889.991	21476.708	22154.302	21738.207	40.5
41.5	21896.373	21483.111	21896.373	21483.055	22160.660	21744.532	41.5
42.5	21902.909	21489.612	21902.909	21489.553	22167.171	21751.009	42.5
43.5	21909.598	21496.265	21909.598	21496.205	22173.834	21757.636	43.5
44.5	21916.440	21503.072	21916.440	21503.009	22180.650	21764.416	44.5
45.5	21923.436	21510.030	21923.436	21510.967	22187.620	21771.348	45.5
46.5	21930.585	21517.141	21930.585	21517.076	22194.741	21778.432	46.5
47.5	21937.887	21524.405	21937.887	21524.338	22202.016	21785.668	47.5
48.5	21945.343	21531.821	21945.343	21531.753	22204.443	21793.055	48.5
49.5	21952.952	21539.389	21952.952	21539.320	22212.023	21800.595	49.5
50.5	21960.714	21547.110	21960.714	21547.039	22219.755	21808.286	50.5
51.5	21968.629	21555.983	21968.629	21555.911	22227.640	21816.129	51.5
52.5	21976.697	21565.008	21976.697	21565.935	22236.677	21824.123	52.5
53.5	21984.918	21575.185	21984.918	21575.111	22245.867	21832.270	53.5
54.5	21993.292	21585.515	21993.292	21585.439	22257.210	21840.567	54.5
55.5	22001.820	21596.000	22001.820	21596.000	22268.709	21849.017	55.5
56.5	22010.500	21596.631	22010.499	21596.552	22274.352	21857.615	56.5
57.5	22019.333	21605.417	22019.333	21605.337	22282.151	21866.371	57.5
58.5	22028.320	21614.355	22028.319	21614.274	22292.103	21875.275	58.5
59.5	22037.459	21623.446	22037.458	21623.363	22301.208	21884.330	59.5
60.5	22046.751	21632.688	22046.749	21632.604	22310.464	21893.537	60.5
61.5	22056.195	21642.082	22056.194	21642.000	22319.873	21902.895	61.5
62.5	22065.793	21651.628	22065.791	21651.544	22329.433	21912.405	62.5
63.5	22075.543	21661.329	22075.542	21661.245	22339.146	21922.065	63.5
64.5	22085.446	21671.176	22085.444	21671.087	22349.011	21931.878	64.5
65.5	22095.501	21681.178	22095.500	21681.087	22359.028	21941.841	65.5
66.5	22105.709	21691.331	22105.708	21691.239	22369.198	21951.956	66.5
67.5	22116.070	21701.637	22116.068	21701.543	22379.519	21962.222	67.5
68.5	22126.583	21712.093	22126.581	21712.000	22389.992	21972.639	68.5
69.5	22137.248	21722.702	22137.247	21722.608	22400.616	21983.206	69.5
70.5	22148.066	21733.462	22148.065	21733.364	22411.393	21993.925	70.5
71.5	22159.037	21744.374	22159.035	21744.274	22422.322	22004.795	71.5
72.5	22170.159	21755.437	22170.158	21755.336	22433.402	22015.816	72.5
73.5	22181.434	21766.651	22181.432	21766.549	22444.634	22026.987	73.5
74.5	22192.862	21778.017	22192.860	21777.914	22456.017	22038.310	74.5
75.5	22204.441	21789.535	22204.439	21789.430	22467.552	22049.783	75.5
76.5	22216.173	21801.203	22216.170	21801.097	22479.239	22061.407	76.5
77.5	22228.056	21813.023	22228.054	21812.915	22491.077	22073.181	77.5
78.5	22240.091	21825.000	22240.089	21824.888	22503.062	22085.106	78.5
79.5	22252.280	21837.117	22252.277	21837.000	22515.208	22097.182	79.5
80.5	22264.619	21849.390	22264.617	21849.270	22527.500	22109.409	80.5
81.5	22277.111	21861.815	22277.108	21861.701	22539.944	22121.785	81.5
82.5	22289.754	21874.390	22289.751	21874.275	22552.539	22134.313	82.5
83.5	22302.549	21887.117	22302.547	21887.000	22565.285	22146.990	83.5
84.5	22315.496	21899.994	22315.493	21899.876	22578.183	22159.810	84.5
85.5	22328.595	21913.022	22328.592	21912.904	22591.231	22172.786	85.5
86.5	22341.845	21926.201	22341.842	21926.081	22604.438	22185.926	86.5
87.5	22355.247	21939.531	22355.244	21939.409	22617.781	22199.203	87.5
88.5	22368.800	21953.011	22368.797	21952.888	22631.283	22212.632	88.5
89.5	22382.505	21966.642	22382.502	21966.518	22644.935	22226.210	89.5
90.5	22396.361	21980.424	22396.358	21980.298	22658.738	22239.939	90.5
91.5	22410.369	21994.356	22410.365	21994.229	22672.692	22253.818	91.5
92.5	22424.528	22008.442	22424.524	22008.310	22686.799	22267.846	92.5
93.5	22438.838	22022.677	22438.834	22022.541	22701.052	22283.023	93.5
94.5	22453.299	22037.055	22453.295	22036.924	22715.458	22298.352	94.5
95.5	22467.912	22051.589	22467.907	22051.456	22730.014	22313.830	95.5
96.5	22482.675	22066.273	22482.671	22066.139	22744.721	22329.557	96.5
97.5	22497.590	22081.107	22497.585	22080.971	22759.578	22346.234	97.5
98.5	22512.655	22096.091	22512.650	22095.954	22774.586	22363.161	98.5

99.5	22527.871	22111.225	22527.866	22111.087	22789.744	22370.237	99.5
100.5	22543.238	22126.510	22543.233	22126.370	22805.052	22385.462	100.5
101.5	22558.756	22141.944	22558.751	22141.802	22820.510	22400.837	101.5
102.5	22574.427	22157.527	22574.421	22157.385	22836.118	22416.360	102.5
103.5	22590.244	22173.261	22590.238	22173.119	22851.862	22432.033	103.5
104.5	22606.211	22189.145	22606.206	22189.009	22867.745	22447.856	104.5
105.5	22622.334	22205.178	22622.328	22205.031	22883.763	22463.827	105.5
106.5	22638.604	22221.360	22638.598	22221.212	22900.051	22479.947	106.5
107.5	22655.025	22237.693	22655.019	22237.543	22916.409	22496.216	107.5
108.5	22671.596	22254.174	22671.590	22254.023	22932.916	22512.638	108.5
109.5	22688.318	22270.805	22688.311	22270.653	22949.574	22529.201	109.5
110.5	22705.189	22287.584	22705.182	22287.432	22966.382	22545.917	110.5
111.5	22722.211	22304.515	22722.204	22304.360	22983.336	22562.781	111.5
112.5	22739.383	22321.594	22739.375	22321.437	23000.442	22579.793	112.5
113.5	22756.704	22338.822	22756.697	22338.664	23017.697	22596.955	113.5
114.5	22774.176	22356.199	22774.168	22356.039	23035.101	22614.264	114.5
115.5	22791.797	22373.724	22791.789	22373.564	23052.654	22631.722	115.5
116.5	22809.568	22391.399	22809.560	22391.237	23070.357	22649.329	116.5
117.5	22827.489	22409.223	22827.480	22409.068	23088.102	22667.074	117.5
118.5	22845.559	22427.195	22845.550	22427.030	23106.209	22684.966	118.5
119.5	22863.778	22445.316	22863.769	22445.149	23124.558	22703.037	119.5
120.5	22882.147	22463.585	22882.138	22463.417	23143.257	22721.236	120.5
121.5	22900.666	22482.003	22900.657	22481.834	23162.304	22739.562	121.5
122.5	22919.334	22500.570	22919.324	22500.399	23181.699	22758.077	122.5
123.5	22938.150	22519.285	22938.141	22519.112	23201.444	22776.719	123.5
124.5	22957.118	22538.144	22957.108	22537.961	23220.539	22795.488	124.5
125.5	22976.231	22557.159	22976.221	22556.984	23240.378	22814.446	125.5
126.5	22995.495	22576.318	22995.485	22576.142	23259.931	22833.511	126.5
127.5	23014.908	22595.626	23014.898	22595.448	23279.204	22852.764	127.5
128.5	23034.470	22615.081	23034.459	22614.902	23298.391	22872.144	128.5
129.5	23054.180	22634.684	23054.169	22634.503	23318.405	22891.671	129.5
130.5	23074.039	22654.435	23074.028	22654.255	23338.308	22911.345	130.5
131.5	23094.047	22674.334	23094.035	22674.150	23358.157	22931.167	131.5
132.5	23114.203	22694.380	23114.191	22694.295	23377.917	22951.132	132.5
133.5	23134.507	22714.574	23134.495	22714.388	23397.642	22971.253	133.5
134.5	23154.960	22734.915	23154.948	22734.727	23417.314	22991.513	134.5
135.5	23175.561	22755.404	23175.548	22755.215	23436.936	23011.922	135.5
136.5	23196.310	22776.040	23196.297	22775.849	23456.605	23032.478	136.5
137.5	23217.207	22796.823	23217.194	22796.631	23476.421	23053.180	137.5
138.5	23238.252	22817.754	23238.239	22817.560	23496.385	23074.029	138.5
139.5	23259.445	22838.831	23259.431	22838.636	23516.495	23095.024	139.5
140.5	23280.785	22860.055	23280.772	22859.859	23536.751	23116.166	140.5
141.5	23302.274	22881.426	23302.260	22881.229	23557.150	23137.454	141.5
142.5	23323.910	22902.944	23323.895	22902.445	23582.710	23158.880	142.5
143.5	23345.692	22924.609	23345.679	22924.408	23608.409	23180.460	143.5
144.5	23367.624	22946.420	23367.609	22946.217	23634.245	23202.194	144.5
145.5	23389.702	22968.378	23389.687	22968.173	23660.240	23224.066	145.5
146.5	23411.926	22990.484	23411.911				

113.5	23017.688	22596.789	23277.228	22853.631	23277.218	22853.457	113.5
114.5	23035.092	22614.097	23294.655	22870.873	23294.554	22870.698	114.5
115.5	23052.645	22631.554	23312.051	22888.264	23312.400	22888.087	115.5
116.5	23070.347	22649.159	23329.695	22905.802	23329.673	22905.624	116.5
117.5	23088.198	22666.812	23347.467	22923.487	23347.456	22923.308	117.5
118.5	23106.199	22684.413	23365.395	22941.241	23365.384	22941.140	118.5
119.5	23124.352	22702.066	23383.378	22959.301	23383.465	22959.119	119.5
120.5	23142.644	22721.060	23401.705	22977.429	23401.693	22977.245	120.5
121.5	23161.093	22739.405	23420.081	22995.725	23420.068	22995.519	121.5
122.5	23179.688	22757.898	23438.604	23014.127	23438.591	23014.900	122.5
123.5	23198.432	22776.539	23457.276	23032.697	23457.263	23032.509	123.5
124.5	23217.325	22795.327	23476.096	23051.414	23476.082	23051.214	124.5
125.5	23236.366	22814.263	23495.063	23070.272	23495.049	23070.087	125.5
126.5	23255.555	22833.247	23509.289	23089.251	23509.234	23089.096	126.5
127.5	23274.892	22852.578	23533.442	23108.446	23533.427	23108.252	127.5
128.5	23294.378	22871.956	23552.852	23127.751	23552.837	23127.555	128.5
129.5	23314.012	22891.482	23572.410	23147.202	23572.395	23147.005	129.5
130.5	23333.794	22911.155	23592.116	23166.800	23592.100	23166.601	130.5
131.5	23353.724	22930.975	23611.969	23186.544	23611.953	23186.344	131.5
132.5	23373.802	22950.942	23631.969	23206.435	23631.952	23206.236	132.5
133.5	23394.021	22971.054	23652.116	23226.472	23652.100	23226.268	133.5
134.5	23414.401	22991.317	23672.411	23246.655	23672.394	23246.450	134.5
135.5	23434.921	23011.724	23692.852	23266.984	23692.835	23266.778	135.5
136.5	23455.590	23032.278	23713.441	23287.460	23713.423	23287.252	136.5
137.5	23476.406	23052.979	23734.176	23308.082	23734.158	23307.872	137.5
138.5	23497.369	23073.827	23755.058	23328.849	23755.039	23328.638	138.5
139.5	23518.479	23094.820	23776.082	23349.762	23776.068	23349.550	139.5
140.5	23539.737	23115.961	23797.262	23370.822	23797.249	23370.608	140.5
141.5	23561.142	23137.245	23818.594	23392.026	23818.564	23391.811	141.5
142.5	23582.693	23158.680	23840.052	23413.377	23840.032	23413.160	142.5
143.5	23604.392	23180.258	23861.666	23434.872	23861.646	23434.654	143.5
144.5	23626.237	23201.983	23883.427	23456.514	23883.400	23456.293	144.5
145.5	23648.230	23223.853	23905.334	23478.300	23905.313	23478.078	145.5
146.5	23670.368	23245.869	23927.387	23500.232	23927.366	23500.059	146.5
147.5	23692.654	23268.031	23949.586	23522.308	23949.564	23522.084	147.5
148.5	23715.086	23290.339	23971.930	23544.530	23971.908	23544.304	148.5
149.5	23737.664	23312.792	23994.421	23566.897	23994.399	23566.669	149.5
150.5	23760.388	23335.391	24017.057	23589.400	24017.034	23589.179	150.5
151.5	23783.259	23358.134	24039.839	24012.065	24039.816	24012.834	151.5
152.5	23806.275	23381.023	24062.766	23634.866	24062.742	23634.633	152.5
153.5	23829.438	23404.057	24085.838	23657.811	24085.815	23657.577	153.5
154.5	23852.747	23427.237	24109.056	23680.901	24109.032	23680.665	154.5
155.5	23876.201	23450.561	24132.419	23704.135	24132.395	23704.898	155.5
156.5	23899.801	23474.030	24155.827	23727.513	24155.803	23727.274	156.5
157.5	23923.547	23497.643	24179.580	23751.034	24179.555	23750.795	157.5
158.5	23947.438	23521.402	24203.378	23774.076	24203.353	23774.460	158.5
159.5	23971.474	23545.304	24227.321	23798.513	24227.295	23798.269	159.5
160.5	23995.656	23569.352	24251.409	23822.468	24251.383	23822.222	160.5
161.5	24019.983	23593.543	24275.641	23846.566	24275.614	23846.318	161.5
162.5	24044.455	23617.879	24300.021	23870.815	24300.001	23870.559	162.5
163.5	24069.071	23642.361	24324.538	23895.193	24324.511	23894.942	163.5
164.5	24093.834	23666.983	24349.203	23919.721	24349.174	23919.469	164.5
165.5	24118.741	23691.751	24374.013	23944.394	24373.985	23944.139	165.5
166.5	24143.792	23716.662	24398.960	23969.209	24398.938	23969.953	166.5
167.5	24168.988	23741.718	24424.063	23994.167	24424.035	23993.910	167.5
168.5	24194.328	23766.917	24449.305	24019.288	24449.276	24019.009	168.5
169.5	24219.813	23792.259	24474.690	24044.513	24474.664	24044.252	169.5
170.5	24245.442	23817.747	24500.218	24069.900	24500.199	24069.637	170.5
171.5	24271.215	23843.374	24525.800	24095.429	24525.861	24095.165	171.5
172.5	24297.132	23869.146	24551.706	24121.102	24551.676	24120.835	172.5
173.5	24323.193	23895.061	24577.665	24146.917	24577.635	24146.664	173.5
174.5	24349.398	23921.119	24603.767	24172.870	24603.736	24172.604	174.5
175.5	24375.747	23947.320	24630.012	24198.973	24629.901	24198.701	175.5
176.5	24402.239	23973.664	24656.400	24225.214	24656.369	24225.074	176.5
177.5	24428.874	24000.151	24682.931	24251.598	24682.900	24251.372	177.5
178.5	24455.653	24026.779	24709.605	24278.123	24709.574	24277.846	178.5

61.5	22842.841	22420.149	22882.840	22420.049	22882.840	22420.049	61.5
62.5	22852.329	22429.585	22892.327	22429.484	22892.327	22429.484	62.5
63.5	22861.968	22439.172	22901.966	22439.069	22901.966	22439.069	63.5
64.5	22871.761	22448.805	22911.761	22448.704	22911.761	22448.704	64.5
65.5	22881.608	22458.496	22921.608	22458.395	22921.608	22458.395	65.5
66.5	22891.509	22468.243	22931.509	22468.142	22931.509	22468.142	66.5
67.5	22901.462	22478.040	22941.462	22477.941	22941.462	22477.941	67.5
68.5	22914.424	22487.887	22951.424	22487.688	22951.424	22487.688	68.5
69.5	22927.392	22497.784	22961.392	22497.585	22961.392	22497.585	69.5
70.5	22940.364	22507.731	22971.364	22507.532	22971.364	22507.532	70.5
71.5	22953.341	22517.728	22981.341	22517.529	22981.341	22517.529	71.5
72.5	22966.322	22527.775	22991.322	22527.576	22991.322	22527.576	72.5
73.5	22979.307	22537.872	23001.307	22537.673	23001.307	22537.673	73.5
74.5	22992.296	22547.919	23011.287	22547.770	23011.287	22547.770	74.5
75.5	22999.398	22557.916	23021.267	22557.767	23021.267	22557.767	75.5
76.5	23006.500	22567.863	23031.247	22567.764	23031.247	22567.764	76.5
77.5	23013.602	22577.810	23041.227	22577.761	23041.227	22577.761	77.5
78.5	23020.704	22587.757	23051.207	22587.758	23051.207	22587.758	78.5
79.5	23027.806	22597.704	23061.187	22597.755	23061.187	22597.755	79.5
80.5	23034.908	22607.651	23071.167	22607.752	23071.167	22607.752	80.5
81.5	23042.010	22617.598	23081.147	22617.749	23081.147	22617.749	81.5
82.5	23049.112	22627.545	23091.127	22627.746	23091.127	22627.746	82.5
83.5	23056.214	22637.492	23101.107	22637.743	23101.107	22637.743	83.5
84.5	23063.316	22647.439	23111.087	22647.740	23111.087	22647.740	84.5
85.5	23070.418	22657.386	23121.067	22657.737	23121.067	22657.737	85.5
86.5	23077.520	22667.333	23131.047	22667.734	23131.047	22667.734	86.5
87.5	23084.622	22677.280	23141.027	22677.731	23141.027	22677.731	87.5
88.5	23091.724	22687.227	23151.007	22687.728	23151.007	22687.728	88.5
89.5	23098.826	22697.174	23160.987	22697.725	23160.987	22697.725	89.5
90.5	23105.928	22707.121	23170.967	22707.722	23170.967	22707.722	90.5
91.5	23113.030	22717.068	23180.947	22717.719	23180.947	22717.719	91.5
92.5	23120.132	22727.015	23190.927	22727.716	23190.927	22727.716	92.5
93.5	23127.234	22736.962	23200.907	22736.713	23200.907	22736.713	93.5
94.5	23134.336	22746.909	23210.887	22746.710	23210.887	22746.710	94.5
95.5	23141.438	22756.856	23220.867	22756.707	23220.867	22756.707	95.5
96.5	23148.540	22766.803	23230.847	22766.704	23230.847	22766.704	96.5
97.5	23155.642	22776.750	23240.827	22776.701	23240.827	22776.701	97.5
98.5	23162.744	22786.697	23250.807	22786.698	23250.807	22786.698	98.5
99.5	23169.846	22796.644	23260.787	22796.695	23260.787	22796.695	99.5
100.5	23176.948	22806.591	23270.767	22806.692	23270.767	22806.692	100.5
101.5	23184.050	22816.538	23280.747	22816.689	23280.747	22816.689	101.5
102.5	23191.152	22826.485	23290.727	22826.686	23290.727	22826.686	102.5
103.5	23198.254	22836.432	23300.707	22836.683	23300.707	22836.683	103.5
104.5	23205.356	22846.379	23310.687	22846.680	23310.687	22846.680	104.5
105.5	23212.458	22856.326	23320.667	22856.677	23320.667	22856.677	105.5
106.5	23219.560	22866.273	23330.647	22866.674	23330.647	22866.674	106.5
107.5	23226.662	22876.220	23340.627	22876.671	23340.627	22876.671	107.5

9.5	22818.680	22394.625	23077.629	22650.742	23077.629	22650.742	9.5
10.5	22820.272	22396.208	23079.215	22652.326	23079.215	22652.301	10.5
11.5	22821.864	22397.792	23080.801	22653.910	23080.801	22653.910	11.5
12.5	22823.456	22399.376	23082.385	22655.494	23082.385	22655.904	12.5
13.5	22825.048	22400.960	23083.969	22657.078	23083.969	22657.913	13.5
14.5	22826.640	22401.544	23085.553	22658.662	23085.553	22660.108	14.5
15.5	22828.232	22402.128	23087.137	22660.246	23087.137	22662.303	15.5
16.5	22829.824	22402.712	23088.721	22661.830	23088.721	22664.498	16.5
17.5	22831.416	22403.296	23090.305	22663.414	23090.305	22666.693	17.5
18.5	22833.008	22403.880	23091.889	22664.998	23091.889	22668.888	18.5
19.5	22834.600	22404.464	23093.473	22666.582	23093.473	22671.083	19.5
20.5	22836.192	22405.048	23095.057	22668.166	23095.057	22673.278	20.5
21.5	22837.784	22405.632	23096.641	22669.750	23096.641	22675.473	21.5
22.5	22839.376	22406.216	23098.225	22671.334	23098.225	22677.668	22.5
23.5	22840.968	22406.800	23099.809	22672.918	23099.809	22679.863	23.5
24.5	22842.560	22407.384	23101.393	22674.502	23101.393	22682.058	24.5
25.5	22844.152	22407.968	23102.977	22676.086	23102.977	22684.253	25.5
26.5	22845.744	22408.552	23104.561	22677.670	23104.561	22686.448	26.5
27.5	22847.336	22409.136	23106.145	22679.254	23106.145	22688.643	27.5
28.5	22848.928	22409.720	23107.729	22680.838	23107.729	22690.838	28.5
29.5	22850.520	22409.304	23109.313	22682.422	23109.313	22693.033	29.5
30.5	22852.112	22409.888	23110.897	22684.006	23110.897	22695.228	30.5
31.5	22853.704	22410.472	23112.481	22685.590	23112.481	22697.423	31.5
32.5	22855.296	22411.056	23114.065	22687.174	23114.065	22700.018	32.5
33.5	22856.888	22411.640	23115.649	22688.758	23115.649	22702.613	33.5
34.5	22858.480	22412.224	23117.233	22690.342	23117.233	22705.208	34.5
35.5	22860.072	22412.808	23118.817	22691.926	23118.817	22707.803	35.5
36.5	22861.664	22413.392	23120.401	22693.510	23120.401	22710.398	36.5
37.5	22863.256	22413.976	23121.985	22695.094	23121.985	22712.993	37.5
38.5	22864.848	22414.560	23123.569	22696.678	23123.569	22715.588	38.5
39.5	22866.440	22415.144	23125.153	22698.262	23125.153	22718.183	39.5
40.5	22868.032	22415.728	23126.737	22700.846	23126.737	22720.778	40.5
41.5	22869.624	22416.312	23128.321	22702.430	23128.321	22723.373	41.5
42.5	22871.216	22416.896	23129.905	22704.014	23129.905	22725.968	42.5
43.5	22872.808	22417.480	23131.489	22705.598	23131.489	22728.563	43.5
44.5	22874.400	22418.064	23133.073	22707.182	23133.073	22731.158	44.5
45.5	22875.992	22418.648	23134.657	22708.766	23134.657	22733.753	45.5
46.5	22877.584	22419.232	23136.241	22710.350	23136.241	22736.348	46.5
47.5	22879.176	22419.816	23137.825	22711.934	23137.825	22738.943	47.5
48.5	22880.768	22420.400	23139.409	22713.518	23139.409	22741.538	48.5
49.5	22882.360	22420.984	23140.993	22715.102	23140.993	22744.133	49.5
50.5	22883.952	22421.568	23142.577	22716.686	23142.577	22746.728	50.5
51.5	22885.544	22422.152	23144.161	22718.270	23144.161	22749.323	51.5
52.5	22887.136	22422.736	23145.745	22719.854	23145.745	22751.918	52.5
53.5	22888.728	22423.320	23147.329	22721.438	23147.329	22754.513	53.5
54.5	22890.320	22423.904	23148.913	22723.022	23148.913	22757.108	54.5
55.5	22891.912	22424.488	23150.497	22724.606	23150.497	22759.703	55.5
56.5	22893.504	22425.072	23152.081	22726.190	23152.081	22762.298	56.5
57.5	22895.096	22425.656	23153.665	22727.774	23153.665	22764.893	57.5
58.5	22896.688	22426.240	23155.249	22729.358	23155.249	22767.488	58.5
59.5	22898.280	22426.824	23156.833	22730.942	23156.833	22770.083	59.5
60.5	22899.872	22427.408	23158.417	22732.526	23158.417	22772.678	60.5
61.5	22901.464	22427.992	23160.001	22734.110	23160.001	22775.273	61.5
62.5	22903.056	22428.576	23161.585	22735.694	23161.585	22777.868	62.5
63.5	22904.648	22429.160	23163.169	22737.278	23163.169	22780.463	63.5
64.5	22906.240	22429.744	23164.753	22738.862	23164.753	22783.058	64.5
65.5	22907.832	22430.328	23166.337	22740.446	23166.337	22785.653	65.5
66.5	22909.424	22430.912	23167.921	22742.030	23167.921	22788.248	66.5
67.5	22911.016	22431.496	23169.505	22743.614	23169.505	22790.843	67.5
68.5	22912.608	22432.080	23171.089	22745.198	23171.089	22793.438	68.5
69.5	22914.200	22432.664	23172.673	22746.782	23172.673	22796.033	69.5
70.5	22915.792	22433.248	23174.257	22748.366	23174.257	22798.628	70.5
71.5	22917.384	22433.832	23175.841	22749.950	23175.841	22801.223	71.5
72.5	22918.976	22434.416	23177.425	22751.534	23177.425	22803.818	72.5
73.5	22920.568	22435.000	23179.009	22753.118	23179.009	22806.413	73.5
74.5	22922.160	22435.584	23180.593	22754.702	23180.593	22809.008	74.5

141.5	24329.056	23896.598	24582.164	24147.075	24582.137	24146.833	141.5
142.5	24330.648	23898.182	24583.748	24148.659	24583.710	24148.391	142.5
143.5	24332.240	23899.766	24585.332	24150.243	24585.283	24150.949	143.5
144.5	24333.832	23901.350	24586.916	24151.827	24586.856	24151.507	144.5
145.5	24335.424	23902.934	24588.500	24153.411	24588.429	24152.065	145.5
146.5	24337.016	23904.518	24590.084	24154.995	24590.002	24152.623	146.5
147.5	24338.608	23906.102	24591.668	24156.579	24591.575	24153.181	147.5
148.5	24340.200	23907.686	24593.252	24158.163	24593.148	24153.739	148.5
149.5	24341.792	23909.270	24594.836	24159.747	24594.721	24154.297	149.5
150.5	24343.384	23910.854	24596.420	24161.331	24596.294	24154.855	150.5
151.5	24344.976	23912.438	24598.004	24162.915	24597.867	24155.413	151.5
152.5	24346.568	23914.022	24600.588	24164.499	24599.440	24155.971	152.5
153.5	24348.160	23915.606	24602.172	24166.083	24601.013	24156.529	153.5
154.5	24349.752	23917.190	24603.756	24167.667	24602.586	24157.087	154.5
155.5	24351.344	23918.774	24605.340	24169.251	24604.159	24157.645	155.5
156.5	24352.936	23920.358	24606.924	24170.835	24605.732	24158.203	156.5
157.5	24354.528	23921.942	24608.508	24172.419	24607.305	24158.761	157.5
158.5	24356.120	23923.526	24610.092	24173.003	24608.878	24159.319	158.5
159.5	24357.712	23925.110	24611.676	24174.587	24610.451	24159.877	159.5
160.5	24359.304	23926.694	24613.260	24176.171	24612.024	24160.435	160.5
161.5	24360.896	23928.278	24614.844	24177.755	24613.597	24160.993	161.5
162.5	24362.488	23929.862	24616.428	24179.339	24615.170	24161.551	162.5
163.5	24364.080	23931.446	24618.012	24180.923	24616.743	24162.109	163.5
164.5	24365.672	23933.030	24619.596	24182.507	24618.316	24162.667	164.5
165.5	24367.264	23934.614	24621.180	24184.091	24619.889	24163.225	165.5
166.5	24368.856	23936.198	24622.764	24185.675	24621.462	24163.783	166.5
167.5	24370.448	23937.782	24624.348	24187.259	24623.035	24164.341	167.5
168.5	24372.040	23939.366	24625.932	24188.843	24624.608	24164.899	168.5
169.5	24373.632	23940.950	24627.516	24190.427	24626.181	24165.457	169.5
170.5	24375.224	23942.534	24629.100	24192.011	24627.754	24166.015	170.5
171.5	24376.816	23944.118	24630.684	24193.595	24629.327	24166.573	171.5
172.5	24378.408	23945.702	24632.268	24195.179	24630.900	24167.131	172.5
173.5	24380.000	23947.286	24633.852	24196.763	24632.473	24167.689	173.5
174.5	24381.592	23948.870	24635.436	24198.347	24634.046	24168.247	174.5
175.5	24383.184	23950.454	24637.020	24200.931	24635.619	24168.805	175.5
176.5	24384.776	23952.038	24638.604	24202.515	24637.192	24169.363	176.5
177.5	24386.368	23953.622	24640.188	24204.099	24638.765	24169.921	177.5
178.5	24387.960	23955.206	24641.772	24205.683	24640.338	24170.479	178.5
179.5	24389.552	23956.790	24643.356	24207.267	24641.911	24171.037	179.5

0.5	22897.990	0.000	22897.988	0.000	23151.251	0.000	0.5
1.5	23237.916	22898.215	23237.916	22898.212	23584.018	23151.476	1.5
2.5	23328.292	22898.591	23328.292	22898.588	23584.393	23151.850	2.5
3.5	23418.668	22898.967	23418.668	22898.964	23584.768	23152.224	3.5
4.5	23509.044	22899.343	23509.044	22899.340	23585.143	23152.598	4.5
5.5	23600.420	22899.719	23600.420	22899.716	23585.518	23152.972	5.5
6.5	23691.796	22900.095	23691.796	22900.092	23585.893	23153.346	6.5
7.5	23783.172	22900.471	23783.172</				

Table with 4 columns of numbers, rows 89.5 to 154.5.

Table with 4 columns of numbers, rows 37.5 to 102.5.

Table with 4 columns of numbers, rows 155.5 to 179.5.

Table with 4 columns of numbers, rows 0.5 to 36.5.

Table with 4 columns of numbers, rows 103.5 to 169.5.

15

Table with 4 columns of numbers, rows 169-179.

16

Table with 4 columns of numbers, rows 117-129.

J

17

Table with 4 columns of numbers, rows 0.5-50.5.

18

Table with 4 columns of numbers, rows 117.5-179.5.

J

Table with 4 columns of numbers, rows 51.5-116.5.

18

Table with 4 columns of numbers, rows 0.5-64.5.

19

Table with 4 columns of numerical data, rows 65 to 130.

Table with 4 columns of numerical data, rows 135 to 200.

Table with 4 columns of numerical data, rows 131 to 195.

Table with 4 columns of numerical data, rows 196 to 260.



Table with 5 columns of numerical data, rows 145.5 to 179.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 93.5 to 158.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 0.5 to 26.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 159.5 to 179.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 27.5 to 92.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 159.5 to 179.5.

Table with 5 columns of numerical data, rows 0.5 to 40.5.

Table with 3 columns (0, 1, 2) and 40 rows of numerical data. Values range from approximately 41.5 to 106.5.

Table with 3 columns (3, 4, 5) and 40 rows of numerical data. Values range from approximately 173.5 to 179.5.

Table with 3 columns (3, 4, 5) and 40 rows of numerical data. Values range from approximately 0.5 to 54.5.

Table with 3 columns (0, 1, 2) and 40 rows of numerical data. Values range from approximately 107.5 to 172.5.

Table with 3 columns (3, 4, 5) and 40 rows of numerical data. Values range from approximately 55.5 to 120.5.

3

4

5

121.5	29433.520	29454.286	29734.720	29755.433	30034.459	30055.121	121.5
122.5	29454.442	29475.513	29754.762	29775.643	30054.520	30075.182	122.5
123.5	29475.930	29497.031	29776.974	29798.022	30076.560	30097.554	123.5
124.5	29497.389	29518.658	29798.355	29819.569	30097.863	30119.024	124.5
125.5	29519.018	29540.453	29819.904	29841.289	30119.334	30140.661	125.5
126.5	29540.816	29562.418	29841.622	29863.170	30140.973	30162.467	126.5
127.5	29562.787	29584.553	29863.509	29885.223	30162.780	30184.440	127.5
128.5	29584.920	29606.956	29885.564	29907.445	30184.756	30206.580	128.5
129.5	29607.225	29629.329	29907.084	29929.275	30206.939	30228.828	129.5
130.5	29629.700	29651.700	29930.180	29952.394	30229.210	30251.367	130.5
131.5	29652.344	29674.780	29952.741	29975.120	30251.689	30274.012	131.5
132.5	29675.156	29697.759	29975.469	29998.015	30274.334	30296.823	132.5
133.5	29698.137	29720.906	29998.366	30021.078	30297.148	30319.803	133.5
134.5	29721.287	29744.223	30021.431	30044.309	30320.129	30342.949	134.5
135.5	29744.605	29767.707	30044.664	30067.707	30343.277	30366.263	135.5
136.5	29768.091	29791.360	30068.084	30091.274	30365.933	30389.744	136.5
137.5	29791.746	29815.181	30091.632	30115.008	30390.075	30413.392	137.5
138.5	29815.570	29839.171	30115.368	30138.990	30413.725	30437.207	138.5
139.5	29839.561	29863.328	30139.272	30162.978	30437.541	30461.189	139.5
140.5	29863.721	29887.653	30163.342	30187.214	30461.525	30485.337	140.5
141.5	29888.048	29912.147	30187.581	30211.618	30485.675	30509.652	141.5
142.5	29912.543	29936.808	30211.986	30236.189	30509.992	30534.134	142.5
143.5	29937.206	29961.637	30236.559	30260.927	30534.475	30558.782	143.5
144.5	29962.031	29986.533	30261.998	30285.825	30559.125	30583.597	144.5
145.5	29987.036	30011.797	30286.205	30310.903	30583.941	30608.578	145.5
146.5	30012.120	30037.128	30311.278	30336.142	30608.923	30633.725	146.5
147.5	30037.535	30062.627	30336.519	30361.547	30634.072	30659.038	147.5
148.5	30063.035	30088.293	30361.926	30387.119	30659.386	30684.517	148.5
149.5	30088.703	30114.126	30387.499	30412.857	30684.867	30710.162	149.5
150.5	30114.538	30140.126	30413.239	30438.762	30710.513	30735.972	150.5
151.5	30140.539	30166.290	30439.145	30464.833	30736.325	30761.949	151.5
152.5	30166.708	30192.626	30465.218	30491.077	30762.303	30788.090	152.5
153.5	30193.043	30219.128	30491.456	30517.473	30788.446	30814.398	153.5
154.5	30219.546	30245.793	30517.861	30544.042	30814.755	30840.870	154.5
155.5	30246.214	30272.627	30544.432	30570.777	30841.229	30867.508	155.5
156.5	30273.049	30299.626	30571.168	30597.678	30867.868	30894.311	156.5
157.5	30300.051	30326.792	30598.071	30624.744	30894.673	30921.279	157.5
158.5	30327.218	30354.124	30625.138	30651.976	30921.642	30948.412	158.5
159.5	30354.552	30381.621	30652.372	30679.373	30948.776	30975.810	159.5
160.5	30382.052	30409.287	30679.771	30706.936	30976.075	31004.373	160.5
161.5	30409.718	30437.117	30707.335	30734.664	31003.539	31030.800	161.5
162.5	30437.549	30465.112	30735.062	30762.557	31031.167	31058.591	162.5
163.5	30465.547	30493.274	30762.958	30790.815	31058.960	31086.547	163.5
164.5	30493.710	30521.600	30791.018	30818.837	31086.917	31114.667	164.5
165.5	30522.038	30550.093	30819.242	30847.225	31115.039	31142.952	165.5
166.5	30550.532	30578.750	30848.631	30876.324	31143.328	31171.400	166.5
167.5	30579.191	30607.626	30878.079	30905.174	31172.000	31200.000	167.5
168.5	30608.015	30636.560	30904.902	30933.375	31200.387	31228.789	168.5
169.5	30637.004	30665.713	30933.785	30962.421	31229.164	31257.728	169.5
170.5	30666.158	30695.030	30963.832	30992.630	31258.105	31286.832	170.5
171.5	30695.477	30724.513	30992.043	31021.004	31287.210	31316.099	171.5
172.5	30724.961	30754.159	31021.418	31050.542	31316.478	31345.529	172.5
173.5	30754.609	30783.970	31050.957	31080.243	31345.909	31375.127	173.5
174.5	30784.438	30814.026	31080.990	31110.109	31375.503	31404.879	174.5
175.5	30814.398	30844.086	31110.526	31140.338	31405.261	31434.799	175.5
176.5	30844.440	30874.390	31140.556	31170.130	31435.182	31464.881	176.5
177.5	30874.845	30904.858	31170.750	31200.686	31465.265	31495.126	177.5
178.5	30905.314	30935.490	31201.107	31231.005	31495.511	31525.534	178.5
179.5	30935.947	30966.285	31231.627	31261.887	31525.920	31556.104	179.5

69.5	29479.458	29491.350	29779.355	29791.219	30077.784	30089.618	69.5
70.5	29500.525	29512.587	29801.380	29813.417	30108.814	30120.814	70.5
71.5	29523.764	29535.942	29831.614	29843.776	30139.016	30151.016	71.5
72.5	29548.175	29560.474	29862.858	29874.230	30170.238	30181.238	72.5
73.5	29573.756	29585.324	29895.477	29926.814	30212.477	30223.477	73.5
74.5	29600.508	29612.245	29931.183	29963.889	30265.733	30276.733	74.5
75.5	29628.432	29640.338	29971.966	29994.934	30320.121	30331.121	75.5
76.5	29657.526	29669.601	29971.966	29994.934	30375.556	30386.556	76.5
77.5	29687.879	29700.034	29971.966	29994.934	30431.044	30442.044	77.5
78.5	29719.427	29731.639	29983.713	29997.092	30487.592	30498.592	78.5
79.5	29752.084	29764.415	29997.271	29997.271	30544.140	30555.140	79.5
80.5	29785.842	29798.361	29997.999	29997.999	30600.688	30611.688	80.5
81.5	29820.706	29833.389	29997.999	29997.999	30657.236	30668.236	81.5
82.5	29856.684	29869.477	29997.999	29997.999	30713.784	30724.784	82.5
83.5	29893.778	29906.671	29997.999	29997.999	30770.332	30781.332	83.5
84.5	29931.986	29944.979	29997.999	29997.999	30826.880	30837.880	84.5
85.5	29971.404	29984.497	29997.999	29997.999	30883.428	30894.428	85.5
86.5	30012.032	30025.025	29997.999	29997.999	30940.000	30951.000	86.5
87.5	30053.770	30066.763	29997.999	29997.999	30996.552	31007.552	87.5
88.5	30106.618	30119.611	29997.999	29997.999	31053.104	31064.104	88.5
89.5	30160.676	30173.669	29997.999	29997.999	31109.656	31120.656	89.5
90.5	30215.944	30228.937	29997.999	29997.999	31166.208	31177.208	90.5
91.5	30272.422	30285.415	29997.999	29997.999	31222.760	31233.760	91.5
92.5	30329.110	30342.103	29997.999	29997.999	31279.312	31290.312	92.5
93.5	30386.008	30399.001	29997.999	29997.999	31335.864	31346.864	93.5
94.5	30443.116	30456.109	29997.999	29997.999	31392.416	31403.416	94.5
95.5	30500.434	30513.427	29997.999	29997.999	31448.968	31459.968	95.5
96.5	30557.962	30570.955	29997.999	29997.999	31505.520	31516.520	96.5
97.5	30615.700	30628.693	29997.999	29997.999	31562.072	31573.072	97.5
98.5	30673.648	30686.641	29997.999	29997.999	31618.624	31629.624	98.5
99.5	30731.806	30744.799	29997.999	29997.999	31675.176	31686.176	99.5
100.5	30790.174	30803.167	29997.999	29997.999	31731.728	31742.728	100.5
101.5	30848.752	30861.745	29997.999	29997.999	31788.280	31799.280	101.5
102.5	30907.540	30920.533	29997.999	29997.999	31844.832	31855.832	102.5
103.5	30966.538	30979.531	29997.999	29997.999	31901.384	31912.384	103.5
104.5	31025.746	31038.739	29997.999	29997.999	31957.936	31968.936	104.5
105.5	31085.164	31098.157	29997.999	29997.999	32014.488	32025.488	105.5
106.5	31144.792	31157.785	29997.999	29997.999	32071.040	32082.040	106.5
107.5	31204.630	31217.623	29997.999	29997.999	32127.592	32138.592	107.5
108.5	31264.678	31277.671	29997.999	29997.999	32184.144	32195.144	108.5
109.5	31324.936	31337.929	29997.999	29997.999	32240.696	32251.696	109.5
110.5	31385.404	31398.397	29997.999	29997.999	32297.248	32308.248	110.5
111.5	31446.082	31459.075	29997.999	29997.999	32353.800	32364.800	111.5
112.5	31506.970	31519.963	29997.999	29997.999	32410.352	32421.352	112.5
113.5	31568.068	31581.061	29997.999	29997.999	32466.904	32477.904	113.5
114.5	31629.276	31642.269	29997.999	29997.999	32523.456	32534.456	114.5
115.5	31690.594	31703.587	29997.999	29997.999	32580.008	32591.008	115.5
116.5	31752.022	31765.015	29997.999	29997.999	32636.560	32647.560	116.5
117.5	31813.560	31826.553	29997.999	29997.999	32693.112	32704.112	117.5
118.5	31875.208	31888.201	29997.999	29997.999	32749.664	32760.664	118.5
119.5	31936.966	31949.959	29997.999	29997.999	32806.216	32817.216	119.5
120.5	32000.834	32013.827	29997.999	29997.999	32862.768	32873.768	120.5
121.5	32064.912	32077.905	29997.999	29997.999	32919.320	32930.320	121.5
122.5	32129.100	32142.093	29997.999	29997.99			

Table with 4 columns of numerical data, rows 17.5 to 82.5.

Table with 4 columns of numerical data, rows 149.5 to 179.5.

E2I isotope

Table with 4 columns of numerical data, rows 0.5 to 30.5.

Table with 4 columns of numerical data, rows 83.5 to 148.5.

Table with 4 columns of numerical data, rows 31.5 to 96.5.

0 1 2

Table with 5 columns of numbers, rows 97.5 to 162.5.

Table with 5 columns of numbers, rows 45.5 to 110.5.

Table with 5 columns of numbers, rows 163.5 to 179.5.

Table with 5 columns of numbers, rows 111.5 to 119.5.

3 4 5

Table with 5 columns of numbers, rows 0.5 to 44.5.

Table with 5 columns of numbers, rows 111.5 to 176.5.

3	4	5
177.5 30735.721 30764.468 178.5 30764.912 30793.815 179.5 30794.260 30823.319	1025.719 31054.394 31054.804 31083.635 31104.047 31113.033	31134.380 31342.985 177.5 31372.122 178.5 31401.415 179.5
6	7	8
0.5 29019.389 29019.552 1.5 29019.556 29019.882 2.5 29019.889 29020.379	29314.446 29314.608 29314.612 29314.937 29314.943 29315.431	29608.092 29608.255 0.5 29608.258 29608.582 1.5 29608.588 29609.075 2.5
3.5 29020.387 29021.039 4.5 29021.050 29021.866 5.5 29021.875 29022.806	29315.439 29316.090 29316.100 29316.914 29317.012 29317.902	29609.082 29609.731 3.5 29609.734 29610.582 4.5 29610.588 29612.538 5.5
6.5 29022.874 29023.925 7.5 29024.034 29025.339 8.5 29025.360 29026.828	29317.917 29319.056 29319.074 29320.375 29320.395 29321.859	29611.551 29612.688 6.5 29612.703 29614.002 7.5 29615.020 29615.480 8.5
9.5 29026.851 29028.482 10.5 29028.508 29030.302 11.5 29030.331 29032.288	29321.881 29323.521 29323.523 29325.321 29325.348 29327.300	29615.500 29617.123 9.5 29617.146 29618.931 10.5 29619.955 29622.902 11.5
12.5 29032.319 29034.439 13.5 29034.472 29036.755 14.5 29036.791 29039.237	29327.445 29329.445 29329.474 29331.752 29331.785 29334.225	29623.039 12.5 29623.039 13.5 29623.039 14.5
15.5 29039.276 29041.885 16.5 29041.926 29044.698 17.5 29044.742 29047.677	29334.261 29336.864 29336.907 29339.667 29339.707 29342.635	29623.039 15.5 29623.039 16.5 29623.039 17.5
18.5 29047.723 29050.821 19.5 29050.869 29054.130 20.5 29054.182 29057.678	29342.678 29345.768 29345.813 29349.066 29349.199 29352.529	29623.039 18.5 29623.039 19.5 29623.039 20.5
21.5 29057.658 29061.245 22.5 29061.301 29065.051 23.5 29065.110 29069.022	29352.578 29356.157 29356.208 29359.949 29360.003 29363.906	29623.039 21.5 29623.039 22.5 29623.039 23.5
24.5 29069.083 29073.159 25.5 29073.222 29077.461 26.5 29077.527 29081.928	29363.963 29368.029 29368.087 29372.315 29372.376 29376.787	29623.039 24.5 29623.039 25.5 29623.039 26.5
27.5 29081.996 29086.561 28.5 29086.631 29091.359 29.5 29091.432 29096.322	29376.830 29381.384 29381.449 29386.165 29386.232 29391.111	29623.039 27.5 29623.039 28.5 29623.039 29.5
30.5 29096.398 29101.451 31.5 29101.529 29106.744 32.5 29106.825 29112.204	29391.181 29396.221 29396.291 29401.497 29401.571 29406.937	29623.039 30.5 29623.039 31.5 29623.039 32.5
33.5 29112.286 29117.828 34.5 29117.913 29123.617 35.5 29123.705 29130.759	29401.013 29412.541 29412.620 29424.310 29424.392 29436.248	29623.039 33.5 29623.039 34.5 29623.039 35.5
36.5 29129.662 29135.692 37.5 29135.784 29141.977 38.5 29142.072 29148.427	29424.328 29436.343 29436.428 29448.606 29436.693 29451.033	29623.039 36.5 29623.039 37.5 29623.039 38.5
39.5 29148.524 29155.042 40.5 29155.142 29161.822 41.5 29161.924 29168.767	29443.123 29456.625 29449.717 29463.822 29456.476 29463.303	29623.039 39.5 29623.039 40.5 29623.039 41.5
42.5 29168.872 29175.878 43.5 29175.985 29183.153 44.5 29183.262 29190.593	29470.487 29477.638 29477.739 29485.052 29485.159 29492.630	29623.039 42.5 29623.039 43.5 29623.039 44.5
45.5 29190.705 29198.198 46.5 29198.312 29205.968 47.5 29206.085 29213.903	29492.736 29500.373 29500.481 29508.280 29508.390 29516.352	29623.039 45.5 29623.039 46.5 29623.039 47.5
48.5 29214.022 29222.003 49.5 29222.116 29230.319 50.5 29230.391 29238.696	29516.352 29524.788 29524.788 29533.387 29533.387 29542.153	29623.039 48.5 29623.039 49.5 29623.039 50.5
51.5 29238.822 29247.290 52.5 29247.419 29256.049 53.5 29256.180 29264.973	29542.153 29551.109 29551.109 29560.279 29560.279 29569.571	29623.039 51.5 29623.039 52.5 29623.039 53.5
54.5 29265.106 29274.061 55.5 29274.196 29283.313 56.5 29283.453 29292.920	29569.571 29579.447 29579.447 29589.610 29589.610 29599.979	29623.039 54.5 29623.039 55.5 29623.039 56.5
57.5 29292.870 29302.312 58.5 29302.454 29312.058	29599.979 29610.044 29596.511 29606.092	29623.039 57.5 29623.039 58.5

125.5 30316.893 30337.266 126.5 30337.545 30358.077 127.5 30358.358 30379.048	30607.386 30627.711 30627.966 30648.449 30648.706 30669.347	30896.479 30916.754 125.5 30916.986 30937.420 126.5 30937.653 30958.245 127.5
128.5 30379.319 30400.180 129.5 30399.821 30421.622 130.5 30421.758 30442.925	30400.180 30421.622 30421.622 30442.925 30442.925 30464.228	30958.479 30979.229 128.5 31005.978 31027.464 129.5 31027.464 31049.000 130.5
131.5 30443.212 30464.537 132.5 30464.826 30486.310 133.5 30486.600 30508.242	30464.537 30486.310 30486.310 30508.242 30508.242 30529.334	31049.000 31070.536 131.5 31070.536 31092.123 132.5 31092.123 31113.764 133.5
134.5 30508.534 30530.334 135.5 30530.628 30552.586 136.5 30552.881 30575.695	30530.334 30552.586 30552.586 30575.695 30575.695 30599.570	31113.764 31135.459 134.5 31135.459 31157.213 135.5 31157.213 31179.033 136.5
137.5 30597.867 30620.300 138.5 30620.600 30643.191 140.5 30643.492 30666.241	30620.300 30643.191 30643.191 30666.241 30666.241 30689.450	31179.033 31200.908 137.5 31200.908 31222.839 138.5 31222.839 31244.829 140.5
141.5 30689.543 30712.818 143.5 30712.881 30742.345 144.5 30736.651 30760.031	30712.818 30742.345 30742.345 30772.000 30760.031 30789.876	31244.829 31266.874 141.5 31266.874 31288.979 143.5 31288.979 31311.132 144.5
145.5 30760.339 30783.876 146.5 30784.185 30807.880 147.5 30808.191 30832.043	30783.876 30807.880 30807.880 30832.043 30832.043 30856.364	31311.132 31333.244 145.5 31333.244 31355.408 146.5 31355.408 31377.624 147.5
148.5 30832.355 30856.364 149.5 30856.377 30880.844 150.5 30881.158 30905.482	30856.364 30880.844 30880.844 30905.482 30905.482 30930.596	31377.624 31400.000 148.5 31400.000 31422.429 149.5 31422.429 31444.916 150.5
151.5 30930.596 30955.234 152.5 30955.552 30980.346 153.5 30980.666 31005.618	30930.596 30955.234 30955.234 30980.346 30980.346 31005.618	31444.916 31467.452 151.5 31467.452 31490.040 152.5 31490.040 31512.680 153.5
154.5 31005.938 31031.047 155.5 31031.368 31056.633 156.5 31056.956 31082.378	31005.938 31031.047 31031.368 31056.633 31056.956 31082.378	31512.680 31535.376 154.5 31535.376 31558.124 155.5 31558.124 31580.924 156.5
157.5 31082.702 31108.200 158.5 31108.685 31134.340 160.5 31134.666 31160.558	31108.200 31134.340 31134.340 31160.558 31160.558 31186.932	31580.924 31603.776 157.5 31603.776 31626.680 158.5 31626.680 31649.624 160.5
161.5 31160.885 31186.932 162.5 31187.261 31213.464 163.5 31213.794 31240.153	31186.932 31213.464 31213.464 31240.153 31240.153 31266.999	31649.624 31672.652 161.5 31672.652 31695.764 162.5 31695.764 31718.916 163.5
164.5 31240.844 31266.999 165.5 31267.331 31294.003 166.5 31294.335 31321.163	31266.999 31294.003 31294.003 31321.163 31321.163 31348.479	31718.916 31741.280 164.5 31741.280 31763.632 165.5 31763.632 31786.024 166.5
167.5 31348.494 31375.953 168.5 31376.288 31403.583 170.5 31403.919 31431.369	31348.494 31375.953 31403.583 31431.369 31431.369 31459.595	31786.024 31808.476 167.5 31808.476 31830.972 168.5 31830.972 31853.516 170.5
171.5 31459.650 31487.411 172.5 31487.650 31515.824 173.5 31515.006 31544.077	31459.650 31487.411 31487.650 31515.824 31515.006 31544.077	31853.516 31876.064 171.5 31876.064 31898.560 172.5 31898.560 31921.008 173.5
174.5 31544.077 31572.644 175.5 31572.986 31601.367 176.5 31601.709 31630.245	31544.077 31572.644 31572.986 31601.367 31601.709 31630.245	31921.008 31943.504 174.5 31943.504 31966.000 175.5 31966.000 31988.496 176.5
177.5 31630.588 31659.279 178.5 31659.623 31688.468	31630.588 31659.279 31659.623 31688.468	31988.496 32010.992 177.5 32010.992 32033.000 178.5

59.5 29312.203 29321.969 60.5 29322.116 29332.044 61.5 29332.193 29342.283	29606.225 29615.968 29616.103 29626.008 29626.145 29636.211	29898.840 29908.559 59.5 29908.683 29918.563 60.5 29918.696 29928.731 61.5
62.5 29342.435 29352.687 63.5 29352.841 29363.255 64.5 29363.411 29373.988	29636.351 29646.578 29646.720 29657.110 29657.253 29667.804	29928.859 29939.062 62.5 29939.192 29949.556 63.5 29949.698 29960.214 64.5
65.5 29374.153 29384.953 66.5 29385.045 29395.945 67.5 29396.108 29407.170	29667.804 29678.811 29678.811 29689.685 29689.835 29700.870	29960.214 64.5 29960.214 65.5 29960.214 66.5
68.5 29407.335 29418.559 69.5 29418.726 29430.112 70.5 29430.281 29441.829	29700.870 29712.219 29712.373 29723.300 29723.888 29735.400	29980.353 29991.164 67.5 29991.164 30002.043 68.5 30002.043 30012.985 69.5
71.5 29442.001 29453.710 72.5 29453.884 29465.755 73.5 29465.931 29477.964	29735.400 29747.247 29747.408 29759.289 29759.413 29771.416	30012.985 70.5 30012.985 71.5 30012.985 72.5
74.5 29478.142 29490.336 75.5 29490.517 29502.873 76.5 29503.055 29515.573	29771.581 29783.745 29783.912 29796.238 29796.406 29808.893	30032.043 73.5 30032.043 74.5 30032.043 75.5
77.5 29515.758 29528.428 78.5 29528.623 29541.464 79.5 29541.653 29554.759	29808.893 29821.712 29821.885 29834.694 29834.868 29847.839	30048.353 76.5 30048.353 77.5 30048.353 78.5
80.5 29554.846 29568.009 81.5 29568.203 29581.527 82.5 29581.723 29595.208	29847.839 29861.146 29861.325 29874.611 29874.797 29888.251	30063.612 80.5 30063.612 81.5 30063.612 82.5
83.5 29595.406 29609.053 84.5 29609.253 29623.061 85.5 29623.263 29637.233	29888.436 29902.047 29902.231 29916.006 29916.192 29930.128	30078.533 83.5 30078.533 84.5 30078.533 85.5
86.5 29637.443 29651.617 87.5 29651.773 29666.065 88.5 29666.273 29680.726	29930.128 29944.412 29944.412 29958.859 29958.859 29973.468	30093.617 86.5 30093.617 87.5 30093.617 88.5
89.5 29680.936 29695.549 90.5 29695.762 29710.536 91.5 29710.751 29725.686	29973.468 29988.240 29988.240 30003.175 30003.372 30018.271	30109.526 89.5 30109.526 90.5 30109.526 91.5
92.5 29725.902 29740.998 93.5 29741.217 29756.474 94.5 29756.684 29772.112	30018.271 30033.530 30033.530 30048.913 30048.913 30064.535	30124.657 92.5 30124.657 93.5 30124.657 94.5
95.5 29772.335 29787.913 96.5 29788.137 29803.876 97.5 29804.103 29820.002	30064.535 30080.749 30080.749 30096.188 30096.188 30112.588	30139.617 95.5 30139.617 96.5 30139.617 97.5
98.5 29820.231 29836.291 99.5 29836.521 29852.742 100.5 29852.974 29869.355	30112.588 30128.489 30128.489 30144.883 30144.883 30161.806	30149.283 98.5 30149.283 99.5 30149.283 100.5
101.5 29869.590 29886.311 102.5 29886.367 29903.069 103.5 29903.307 29920.169	30161.806 30178.151 30178.151 30195.033 30195.033 30212.074	30166.774 101.5 30166.774 102.5 30166.774 103.5
104.5 29920.409 29937.431 105.5 29937.473 29954.856 106.5 29955.099 29972.442	30212.074 30229.294 30229.294 30246.639 30246.639 30264.160	30171.104 104.5 30171.104 105.5 30171.104 106.5
107.5 29972.698 29989.190 108.5 29990.438 30008.167 109.5 30008.350 30026.172	30264.160 30281.854 30281.854 30299.687 30299.687 30317.569	30176.104 107.5 30176.104 108.5 30176.104 109.5
110.5 30026.423 30044.405 111.5 30044.659 30062.801 112.5 30063.056 30081.357	30317.569 30335.875 30335.875 30354.200 30354.200 30372.698	30181.925 110.5 30181.925 111.5 30181.925 112.5
113.5 30081.614 30100.076 114.5 30100.334 30118.955 115.5 30119.428 30138.739	30372.698 30391.351 30391.351 30409.850 30409.850 30428.188	30187.119 113.5 30187.119 114.5 30187.119 115.5
116.5 3013		

9

10

11

73.5	30342.158	30354.103	30631.422	30643.337	30919.274	30931.158	73.5
74.5	30354.240	30366.346	30643.460	30655.535	30931.267	30943.310	74.5
75.5	30366.484	30378.750	30655.659	30667.895	30943.420	30955.623	75.5
76.5	30378.890	30391.317	30668.020	30680.416	30955.734	30968.097	76.5
77.5	30391.458	30404.045	30680.543	30693.098	30968.209	30980.732	77.5
78.5	30404.188	30416.935	30693.226	30705.942	30980.845	30993.527	78.5
79.5	30417.089	30429.981	30706.071	30718.947	30993.642	31006.483	79.5
80.5	30430.134	30443.202	30719.078	30732.113	31006.794	31019.600	80.5
81.5	30443.349	30456.578	30732.245	30745.440	31019.717	31032.877	81.5
82.5	30456.727	30470.115	30745.574	30758.929	31032.995	31046.315	82.5
83.5	30470.266	30483.814	30759.064	30772.578	31046.434	31059.913	83.5
84.5	30483.966	30497.675	30772.714	30786.388	31060.033	31073.671	84.5
85.5	30497.829	30511.697	30786.526	30800.260	31073.793	31087.590	85.5
86.5	30511.853	30525.981	30800.499	30814.492	31087.713	31101.670	86.5
87.5	30525.038	30540.224	30814.633	30828.786	31101.194	31115.909	87.5
88.5	30540.385	30554.733	30828.927	30843.239	31116.034	31130.309	88.5
89.5	30554.893	30569.401	30843.383	30857.854	31130.435	31144.869	89.5
90.5	30569.562	30584.230	30857.999	30872.630	31144.996	31159.588	90.5
91.5	30584.393	30599.220	30872.775	30887.566	31159.717	31174.468	91.5
92.5	30599.385	30614.372	30887.713	30902.662	31174.598	31189.508	92.5
93.5	30614.538	30629.685	30902.811	30917.920	31189.639	31204.708	93.5
94.5	30629.852	30645.158	30918.069	30933.337	31204.840	31220.068	94.5
95.5	30645.327	30660.793	30933.488	30948.915	31220.201	31235.587	95.5
96.5	30660.963	30676.589	30949.067	30964.654	31235.721	31251.266	96.5
97.5	30676.760	30692.545	30964.807	30980.552	31251.401	31267.105	97.5
98.5	30692.718	30708.663	30980.707	30996.611	31267.241	31283.104	98.5
99.5	30708.837	30724.941	30996.767	31012.830	31283.241	31299.262	99.5
100.5	30725.116	30741.319	31012.987	31029.209	31299.400	31315.579	100.5
101.5	30741.557	30757.979	31029.367	31045.748	31315.718	31332.056	101.5
102.5	30757.151	30773.847	31045.904	31062.447	31332.196	31348.694	102.5
103.5	30773.918	30789.659	31062.608	31079.306	31348.834	31365.488	103.5
104.5	30789.840	30808.740	31079.468	31096.325	31365.630	31382.443	104.5
105.5	30808.922	30828.981	31096.488	31113.504	31382.586	31399.557	105.5
106.5	30828.165	30849.392	31113.668	31130.842	31399.701	31416.830	106.5
107.5	30843.567	30860.944	31131.007	31148.340	31416.975	31434.263	107.5
108.5	30861.130	30878.666	31148.506	31165.998	31434.408	31451.854	108.5
109.5	30878.853	30896.547	31166.165	31183.815	31452.000	31469.604	109.5
110.5	30896.737	30914.589	31183.993	31201.791	31469.751	31487.513	110.5
111.5	30914.780	30932.791	31201.961	31219.927	31487.661	31505.580	111.5
112.5	30932.983	30951.153	31220.098	31238.222	31505.730	31523.807	112.5
113.5	30951.346	30969.674	31238.394	31256.677	31523.957	31542.192	113.5
114.5	30969.869	30988.356	31256.849	31275.290	31542.343	31560.735	114.5
115.5	30988.551	31007.197	31275.464	31294.063	31560.887	31579.437	115.5
116.5	31007.393	31026.197	31294.237	31312.994	31579.590	31598.298	116.5
117.5	31026.315	31045.370	31312.961	31332.196	31598.451	31617.315	117.5
118.5	31045.556	31064.677	31332.262	31351.334	31617.471	31636.493	118.5
119.5	31064.877	31084.155	31351.512	31370.743	31636.649	31655.829	119.5
120.5	31084.357	31103.793	31370.921	31390.309	31655.985	31675.322	120.5
121.5	31103.996	31123.591	31390.489	31410.035	31675.479	31694.973	121.5
122.5	31123.794	31143.547	31410.216	31429.919	31695.131	31714.783	122.5
123.5	31143.752	31163.663	31430.101	31449.962	31714.941	31734.750	123.5
124.5	31163.869	31183.731	31449.144	31469.163	31735.909	31754.873	124.5
125.5	31184.131	31204.371	31470.346	31489.000	31755.035	31775.588	125.5
126.5	31204.579	31224.963	31490.706	31511.040	31775.318	31795.598	126.5
127.5	31225.172	31245.714	31511.225	31531.715	31795.759	31816.196	127.5
128.5	31245.924	31266.624	31531.901	31552.549	31816.358	31836.952	128.5
129.5	31266.835	31287.692	31552.736	31573.541	31837.114	31857.865	129.5
130.5	31287.904	31308.919	31573.729	31594.691	31858.028	31878.935	130.5
131.5	31309.132	31330.304	31594.879	31615.999	31879.099	31900.163	131.5
132.5	31330.518	31351.841	31616.935	31637.621	31901.321	31921.548	132.5
133.5	31352.063	31373.549	31637.654	31659.087	31921.712	31943.089	133.5
134.5	31373.765	31395.409	31659.278	31680.868	31943.255	31964.788	134.5
135.5	31395.626	31417.427	31681.059	31702.806	31964.954	31986.643	135.5
136.5	31417.645	31439.603	31702.998	31724.902	31986.810	32008.656	136.5
137.5	31439.822	31461.937	31725.095	31747.155	32008.823	32030.825	137.5
138.5	31462.157	31484.429	31747.348	31769.565	32030.993	32053.151	138.5

21.5	30806.344	30809.876	21.500
22.5	30809.907	30813.599	22.500
23.5	30813.631	30817.485	23.500
24.5	30817.518	30821.532	24.500
25.5	30821.566	30825.740	25.500
26.5	30825.776	30830.111	26.500
27.5	30830.149	30834.643	27.500
28.5	30834.682	30839.280	28.500
29.5	30839.377	30844.193	29.500
30.5	30844.234	30849.211	30.500
31.5	30849.253	30854.390	31.500
32.5	30854.433	30859.730	32.500
33.5	30859.775	30865.233	33.500
34.5	30865.219	30870.897	34.500
35.5	30870.944	30876.722	35.500
36.5	30876.771	30882.709	36.500
37.5	30882.760	30888.858	37.500
38.5	30888.910	30895.160	38.500
39.5	30895.221	30901.640	39.500
40.5	30901.694	30908.273	40.500
41.5	30908.329	30915.068	41.500
42.5	30915.124	30922.024	42.500
43.5	30922.062	30929.141	43.500
44.5	30929.200	30936.420	44.500
45.5	30936.480	30943.860	45.500
46.5	30943.922	30951.461	46.500
47.5	30951.524	30959.224	47.500
48.5	30959.288	30967.148	48.500
49.5	30967.214	30975.233	49.500
50.5	30975.309	30983.480	50.500
51.5	30983.548	30991.887	51.500
52.5	30991.956	31000.456	52.500
53.5	31000.526	31009.186	53.500
54.5	31009.257	31018.076	54.500
55.5	31018.149	31027.128	55.500
56.5	31027.202	31036.341	56.500
57.5	31036.416	31045.715	57.500
58.5	31045.791	31055.250	58.500
59.5	31055.327	31064.945	59.500
60.5	31065.024	31074.802	60.500
61.5	31074.882	31084.819	61.500
62.5	31084.900	31094.997	62.500
63.5	31095.079	31105.336	63.500
64.5	31105.419	31115.836	64.500
65.5	31115.920	31126.498	65.500
66.5	31126.581	31137.316	66.500
67.5	31137.403	31148.297	67.500
68.5	31148.385	31159.439	68.500
69.5	31159.528	31170.741	69.500
70.5	31170.832	31182.204	70.500
71.5	31182.295	31193.827	71.500
72.5	31193.920	31205.611	72.500
73.5	31205.704	31217.655	73.500
74.5	31217.649	31229.959	74.500
75.5	31229.754	31241.923	75.500
76.5	31242.020	31254.348	76.500
77.5	31254.445	31266.932	77.500
78.5	31267.031	31279.677	78.500
79.5	31279.777	31292.582	79.500
80.5	31292.694	31305.644	80.500
81.5	31305.748	31318.871	81.500
82.5	31318.974	31332.256	82.500
83.5	31332.360	31345.800	83.500
84.5	31345.905	31359.504	84.500
85.5	31359.610	31373.368	85.500
86.5	31373.475	31387.392	86.500

139.5	31484.650	31507.079	31769.759	31792.132	32053.319	32075.634	139.5
140.5	31507.300	31529.886	31792.327	31814.857	32075.802	32098.273	140.5
141.5	31530.108	31552.851	31815.052	31837.738	32098.442	32121.068	141.5
142.5	31553.074	31575.971	31837.931	31860.776	32121.328	32144.047	142.5
143.5	31576.197	31599.253	31860.974	31883.972	32144.190	32167.128	143.5
144.5	31599.478	31622.690	31884.169	31907.324	32167.298	32190.392	144.5
145.5	31622.916	31646.284	31907.522	31930.832	32190.563	32213.812	145.5
146.5	31646.511	31670.035	31931.031	31954.497	32213.983	32237.388	146.5
147.5	31670.263	31693.944	31954.697	31978.319	32237.560	32261.120	147.5
148.5	31694.172	31718.009	31978.519	32002.297	32261.292	32285.007	148.5
149.5	31718.298	31742.231	32002.497	32026.431	32285.180	32309.050	149.5
150.5	31742.461	31766.610	32026.632	32050.721	32309.223	32333.249	150.5
151.5	31766.840	31791.145	32050.923	32075.168	32333.423	32357.604	151.5
152.5	31791.376	31815.837	32075.370	32099.770	32357.777	32382.113	152.5

Table with 4 columns of numerical data, likely representing a list of parameters or results.

J RESULTS OBTAINED AFTER 3 ITERATIONS

Table with 4 columns: PARAMETER, STARTING, RESULTING, and STD DEV. It lists various parameters and their values after 3 iterations.

Table with 4 columns: PARAMETER, STARTING, RESULTING, and STD DEV. It lists various parameters and their values after 3 iterations.

Table with 4 columns: PARAMETER, STARTING, RESULTING, and STD DEV. It lists various parameters and their values after 3 iterations.

NUMBER OF EFFECTIVE PARAMETERS 119 THE STANDARD DEVIATION IS 0.003994 WITH 7641 INPUT LINES AND THE WEIGHTED STANDARD DEVIAT: THE RMS ERROR IS 0.003963 AND THE WEIGHTED RMS ERROR IS 0.003963 SIGMA2= 0.1595181

Table with 4 columns: PARAMETER, STARTING, RESULTING, and STD DEV. It lists various parameters and their values after 3 iterations.







Nom : Hafid  
Prénom : Mohammed  
Titre : Etude de la molécule BaCl par spectrométrie par transformation de Fourier et fluorescence induite par laser

Résumé :

Ce mémoire présente une étude des spectres de fluorescence induite par laser de la molécule BaCl enregistrés par spectrométrie par transformation de Fourier.

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'étude systématique des états électroniques de basse énergie des halogénures d'alcalino-terreux. Il a pour but d'obtenir des données expérimentales suffisantes pour tester la validité des modèles théoriques déjà développés pour ces types de molécules. Cette étude comprend une analyse détaillée de dix transitions électroniques dont trois sont observées pour la première fois. Elle a permis la caractérisation de sept états électroniques de basse énergie où l'on a exploré les niveaux vibrationnels jusqu'à  $v = 20$ . La démarche suivie dans ce travail a montré que le traitement simultané de toutes les données expérimentales est le mieux adapté à la détermination des paramètres moléculaires. Les courbes d'énergie potentielle ainsi que les constantes spectroscopiques des sept états électroniques ont été obtenues.

Cette étude a montré, à travers l'analyse des transitions électroniques  $B^2\Sigma - X^2\Sigma$  et  $F^2\Sigma - B^2\Sigma$ , la nécessité de tenir compte des interactions entre les trois premiers états excités. On s'est donc intéressé à l'étude du complexe 'd' formé par les états  $A'^2\Delta$ ,  $A^2\Pi$  et  $B^2\Sigma$ . Les résultats de ce traitement ont confirmé les prédictions théoriques basées sur le modèle du champ liant.

Mots clés : Molécules diatomiques  
Halogénures d'alcalino-terreux : BaCl  
Spectroscopie de Fourier  
Fluorescence induite par laser  
Transitions électroniques  
Constantes moléculaires