PORTUGALIAE PHYSICA
Vol. 2—Fasc. 2—1946

ÉTUDE DES SATELLITES DE LA RAIE Lα DE L'OR

par José Sarmento (à Pôrto)

(Reçu le 15 Juillet 1946)

1. But du travail. L'étude de la bande satellite Lα de l'or a été entreprise, en 1937, par F. K. Richtmyer [1] au moyen d'un spectromètre à cristal double. Les résultats furent comparés aux calculs de E. Ramberg [2] et malgré certains écarts entre l'expérience et la théorie, celle-ci a, en tout cas, une valeur qualitative.

Dans le présent travail nous nous sommes proposé :

1°) de reprendre les mesures de Richtmyer au moyen d'un spectrographe à cristal courbe, type Cauchois, et de comparer les deux groupes de résultats ;

2°) de rechercher la bande satellite prévue par la théorie entre Lα_1 et Lα_2 mais qui n'a pas été observée par Richtmyer ; le cas écheant nous rechercherions sa forme, son intensité maximum et la position de celle-ci dans la bande ;

3°) de montrer, une fois de plus, l'avantage que le spectrographe de Cauchois peut présenter sur le spectromètre à cristal double.

2. Description de l'installation. Nous avons employé un tube à gaz, type Shearer, à anticathode d'or ; nous n'avons pas choisi le tube Coolidge car les raies du tungstène, qui apparaissent toujours avec les tubes à cathode incandescente, gêneraient l'observation de la bande satellite.

Le vide était obtenu au moyen d'une pompe préparatoire suivie d'une pompe à diffusion de mercure, car les raies du mercure qui se forment toujours ainsi ne gênent pas l'observation des bandes satellites.

Le tube était placé à l'intérieur d'une boîte en plomb, dont les parois avaient 1 mm d'épaisseur, et qui ne gênait pas l'accès au tube.

Comme générateur de haute tension, nous avons employé une bobine d'induction Ducretet avec un interrupteur à jet de mercure.

Nous avons presque toujours travaillé à une tension de 40 kV, de façon à obtenir le meilleur contraste des raies, selon les indications de Coster et Huinzinger [3] d'après lesquels cette tension doît être d'environ deux fois et demi le potentiel d'excitation de la série (environ 14,4 kV).

Le courant était de 2 mA car nous avons remarqué qu'au dessus de cette valeur l'intensité des raies s'affaiblissait.

Nous avons construit un spectrographe à cristal courbe, type Cauchois, de 500 mm de rayon *(v. planche 1)*. Les dimensions de la fenêtre du porte-cristal sont assez peu courants : 15 mm de largeur sur 5 mm de hauteur. Ces dimensions réduites, qui ont l'avantage de permettre l'usage d'excellentes lames cristallines, n'ont pas d'inconvénients, dans nos conditions de mesure, car la largeur du faisceau de rayons X ne dépassait pas 5 mm sur la fenêtre et, d'autre part, celle-ci permet encore d'obtenir sur le même cliché $L\beta_5$ de Au (1038 U. X.) et $K\alpha$ de Cu (1541 U. X.). Quant à la hauteur des raies, elle reste encore légèrement supérieure à 10 mm qui est la longueur maximum utile pour le microphotomètre enregistreur.

La lame cristalline a été obtenue à partir d'un protoprisme de quartz; elle a été coupée parallèlement à l'axe. Comme plains réticulaires de réflexion, nous avons utilisé des plans parallèles aux faces du prisme di-hexagonal $\{12\bar{3}0\}$, avec une distance réticulaire de 1748,9 U. X. L'angle des plans réticulaires de réflexion avec la normale à la face est de 1° 25'.

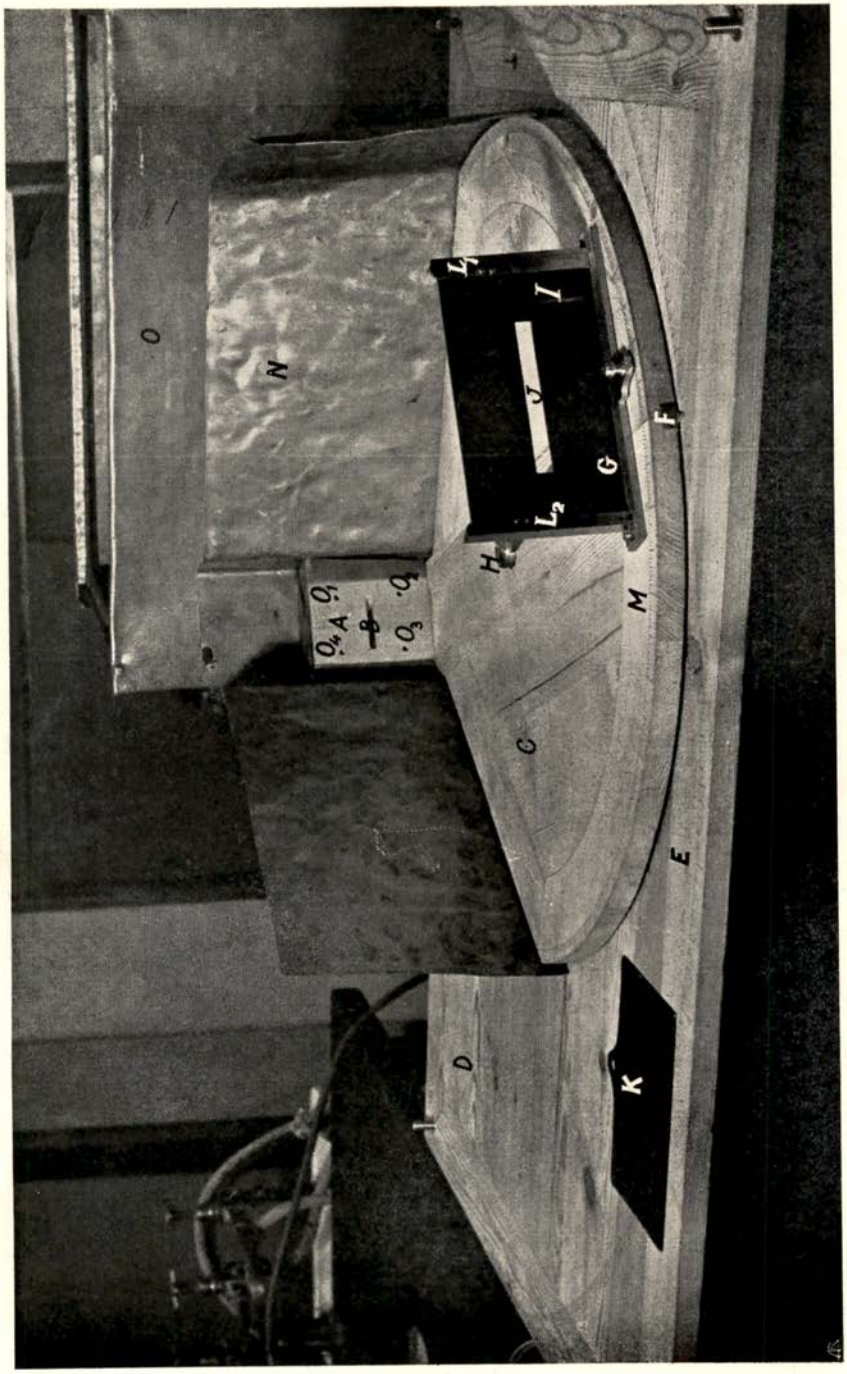
3. Spectrogrammes. La fenêtre du tube à rayons X était à 22 cm du cristal sous un angle de 28°. Pour faire ressortir convenablement les bandes satellites nous avons dû faire des poses de plus de 24 heures avec des courants de 1,5 à 2 mA sous une tension de 40 à 50 kV. Nous avons employé des plaques «Ferrania Super-Orto Anti-halo».

Les spectrogrammes ont été étudiés au moyen d'un microphotomètre enregistreur Zeiss à cellule photoélectrique à vide. Au cours des mesures nous avons examiné plusieurs fois un coin microphotométrique, vérifiant ainsi que la déviation d du fil de l'électromètre mesurée sur le cliché est reliée à la densité de noircissement δ par la relation

$$\delta = A - n \log d$$

où A est une constante, variable avec chaque expérience, et n une constante dont les valeurs dans nos expériences ont toujours oscillé autour de 1,6.

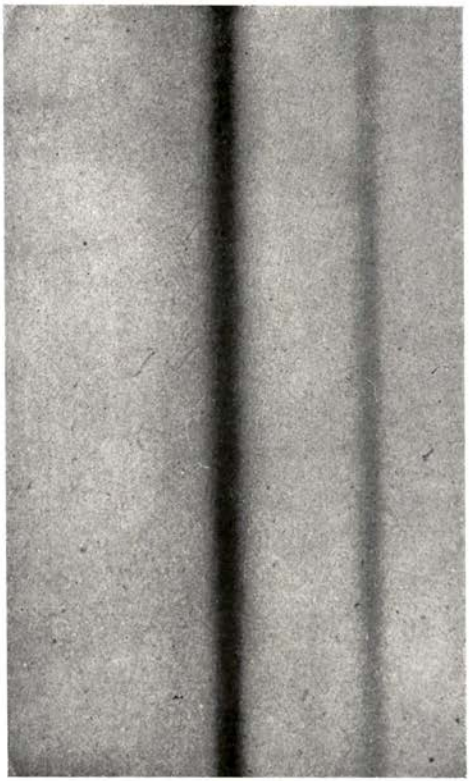
Par définition on a $\delta = \log \frac{I_0}{I}$ où I_0 est l'intensité de la radiation



Spectrographe à cristal courbe, type Cauchois

(En face p. 140)

Raies α du spectre L de l'or



α_1 α_2

(En face p. 141

lumineuse qui incide normalement sur le coin dans la zone de densité δ et I est l'intensité transmise. On a donc

$$\log \frac{I_0}{I} = A - n \log d .$$

On peut écrire

$$A = \log I_0 + \text{const} .$$
$$n \log d = \log I + \text{const} .$$

On en déduit

$$d^n = kI$$

Puisque dans les cellules à vide il y a proportionnalité entre l'intensité de la radiation et le courant d'électrons et comme la tension du fil de l'électromètre est directement proportionnelle à ce courant, la courbe d'étalonnage de l'électromètre aura la forme

$$d^n = k' u .$$

La constante n, de la formule $\delta = A - n \log d$, caractérise donc la courbe d'étalonnage. La forme de celle-ci dépend un peu de la position des couteaux et, surtout, de la nature de l'étrier du fil ; mais dans nos mesures la position des couteaux s'est maintenue pratiquement invariable ce qui explique la constance de n.

La détermination de la densité de noircissement aux différents points du spectrogramme se faisait en passant au microphotomètre, d'abord le spectogramme et tout de suite après le coin microphotomètrique.

La connaissance des constantes A et n permettait alors de résoudre notre problème.

Pour passer des densités aux doses il faut déterminer expérimentalement la forme de la courbe $\delta = f(D)$, où δ est la densité et D la dose.

Pour celà nous enregistrons sur le même cliché $L\alpha_1$ de l'or, avec des temps de pose variables, en maintenant toujours le même régime du tube. Nous avons vérifié que pour des densités allant jusqu'à 1,7 et pour différentes densités du voile on pouvait admettre la proportionnalité de la dose à l'accroissement de densité.

4. La structure de la bande satellite de $L\alpha$ de l'or. Cette structure a été étudiée sur le spectrogramme donné dans la planche 2. Le micro-

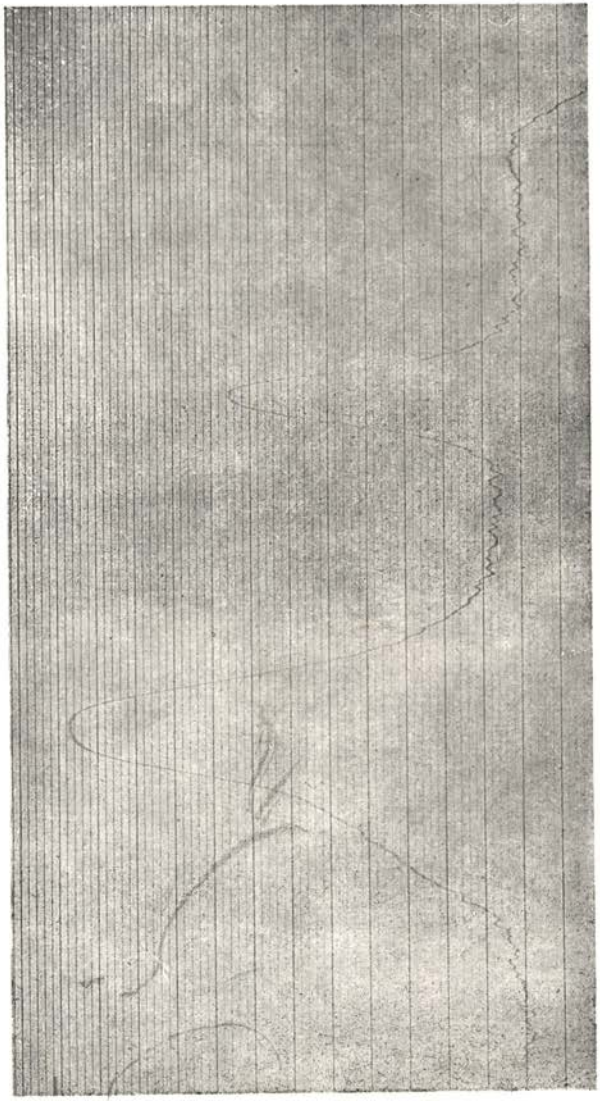
photogramme est reproduit dans la planche 3. Les densités sont obtenues en passant le coin et les résultats en sont donnés dans le tableau suivant.

Densités δ	Écarts d	log d	Densités δ	Écarts d	log d
3,8	0,75	—	2,0	6	0,778
3,6	1,0	0	1,8	8	0,903
3,4	1,0	0	1,6	10	1,000
3,2	1,5	0,176	1,4	13	1,114
3,0	1,75	0,243	1,2	17,5	1,243
2,8	2,0	0,301	1,0	23,5	1,371
2,6	2,75	0,439	0,8	31,5	1,498
2,4	3,75	0,574	0,6	42,5	1,628
2,2	4,75	0,677	0,4	57	1,756

Avec la densité en ordonnées et le logarithme de l'écart en abscisses on obtient une courbe d'équation $\delta = 3{,}25 - 1{,}62 \log d$. On peut ainsi calculer les densités aux différents points du spectrogramme. Nous obtenons de cette façon les valeurs suivantes :

ANALYSE DU MICROPHOTOGRAMME

Abscisses	Écarts d	Logarithmes des écarts log d	1,62 log d	Densités δ
$-10\ a + 3$	71	1,8513	2,999	0,251
$+\ 9\ a + 32$	60,5	1,7188	2,886	0,363
34	58	1,7634	2,857	0,393
36	57	1,7559	2,845	0,405
37	54,5	1,736	2,812	0,438
38	51	1,708	2,767	0,483
39	46	1,663	2,694	0,556
40	41	1,613	2,613	0,637
41	31	1,491	2,415	0,835
42	26	1,415	2,292	0,958
43	23,5	1,3711	2,221	1,029
43,25	»	»	»	»
44	24	1,380	2,236	1,014
45	26	1,415	2,292	0,958
46	31	1,491	2,415	0,835
47	37	1,568	2,540	0,710



Microphotogramme du spectre de la planche 2.

(En face p. 142)

ANALYSE DU MICROPHOTOGRAMME (suite)

Abscisses	Écarts d	Logarithmes des écarts log d	1,62 log d	Densités δ
48	44	1,643	2,662	0,588
49	49	1,690	2,738	0,512
50	52,5	1,730	2,786	0,464
51	55	1,740	2,819	0,431
52	57	1,756	2,845	0,405
53	57	1,756	2,845	0,405
54 a 60	57,5	1,760	2,851	0,399
67	56,5	1,752	2,838	0,412
70	54	1,732	2,806	0,444
73	51	1,708	2,767	0,483
75	46	1,663	2,694	0,556
77	40	1,602	2,595	0,655
78	35	1,544	2,501	0,749
79	29,5	1,470	2,381	0,869
80	23,5	1,362	2,206	1,044
81	18,5	1,267	2,052	1,197
82	12	1,079	1,748	1,501
83	7	—	—	—
84	4	—	—	—
85	2,75	—	—	—
86	2,5	—	—	—
86,5	»	—	—	—
87	2,75	—	—	—
88	3,5	—	—	—
89	5	—	—	—
90	7	—	—	—
91	11	1,041	1,686	1,564
92	16	1,176	1,905	1,345
93	21	1,322	2,142	1,108
94	26	1,415	2,292	0,958
95	30	1,477	2,393	0,857
96	32,5	1,512	2,449	0,801
97	34	1,531	2,480	0,770
98	36	1,556	2,521	0,729
99	38	1,580	2,560	0,690
100	40	1,602	2,595	0,655
101	41	1,613	2,613	0,637
102	42	1,623	2,633	0,617
103	44	1,643	2,662	0,588
104	45	1,653	2,678	0,572
105	46	1,663	2,694	0,556
106	47,5	5,677	2,717	0,533
107	49	1,690	2,738	0,512

ANALYSE DU MICROPHOTOGRAMME (suite)

Abscisses	Écarts d	Logarithmes des écarts $\log d$	$1{,}62 \log d$	Densités δ
108	51	1,708	2,767	0,483
109	53	1,724	2,793	0,457
110	54,5	1,736	2,812	0,438
111	56	1,748	2,832	0,418
112	57,5	1,760	2,851	0,399
113	58	1,763	2,856	0,394
114	59	1,771	2,869	0,381
115	59	1,771	2,869	0,381
116 a 119	60	1,778	2,880	0,370
120 a 130	61	1,785	2,892	0,358

La courbe de la fig. 1 représente l'enregistrement microphotométrique du microphotogramme de la planche 3. Il a été tracé en prenant en abscisses les nombres donnés dans la première colonne du tableau et en ordonnées ceux qui se trouvent dans la deuxième colonne. La bande satellite dans la region $\nu > \nu_{L\alpha_1}$ se détache nettement de la partie inférieure de la raie $L\alpha_1$ et dans la région entre $L\alpha_1$ et $L\alpha_2$, bien qu'elle soit moins nette, on peut encore l'observer.

On peut admettre que la différence de longueur d'onde de deux radiations voisines est proportionnelle à leur écart. C'est sur cette base que nous avons étalonné les axes supplémentaires de la fig. 1.

Puisque nous avons remarqué que jusqu'à $\delta = 1{,}7$ il y avait proportionnalité des doses aux accroissements de densité, il s'ensuit que la courbe des densités, jusqu'à $\delta = 1{,}6$, représentera aussi, dans une certaine échelle, la courbe des intensités.

À partir des valeurs du tableau nous avons tracé la courbe à trait plein de la fig. 2 (en abscisses, les valeurs de la première colonne et en ordonnées celles de la seconde).

L'intensité aux différents points du spectrogramme est directement proportionnelle à la différence entre l'ordonnée de la courbe et celle du fond continu, 0,35. Le maximum de la raie $L\alpha_2$ est égal à 10,7 % du maximum de $L\alpha_1$ et comme, sur l'original de la fig. 2, l'intensité maximum de $L\alpha_2$ est donnée par une longueur de 66,5 mm, on en déduit que 6,2 mm représentent 1 % du maximum de $L\alpha_1$, ce qui a permis de représenter les intensités sur la fig. 2.

Pour séparer la bande satellite de la raie fondamentale nous avons soustrait de la courbe d'intensité le fond sur lequel se détache la bande

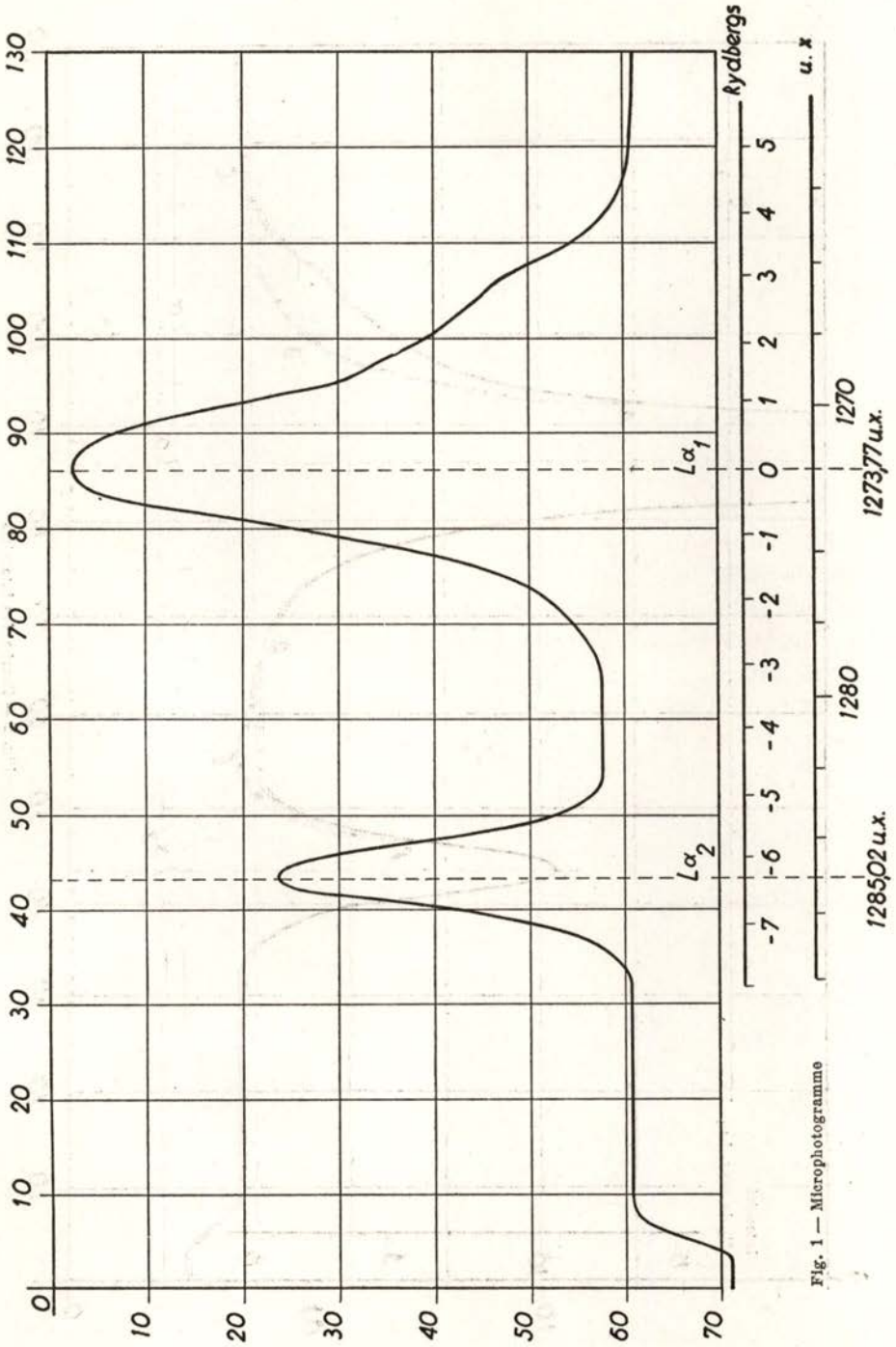


Fig. 1 — Microphotogramme

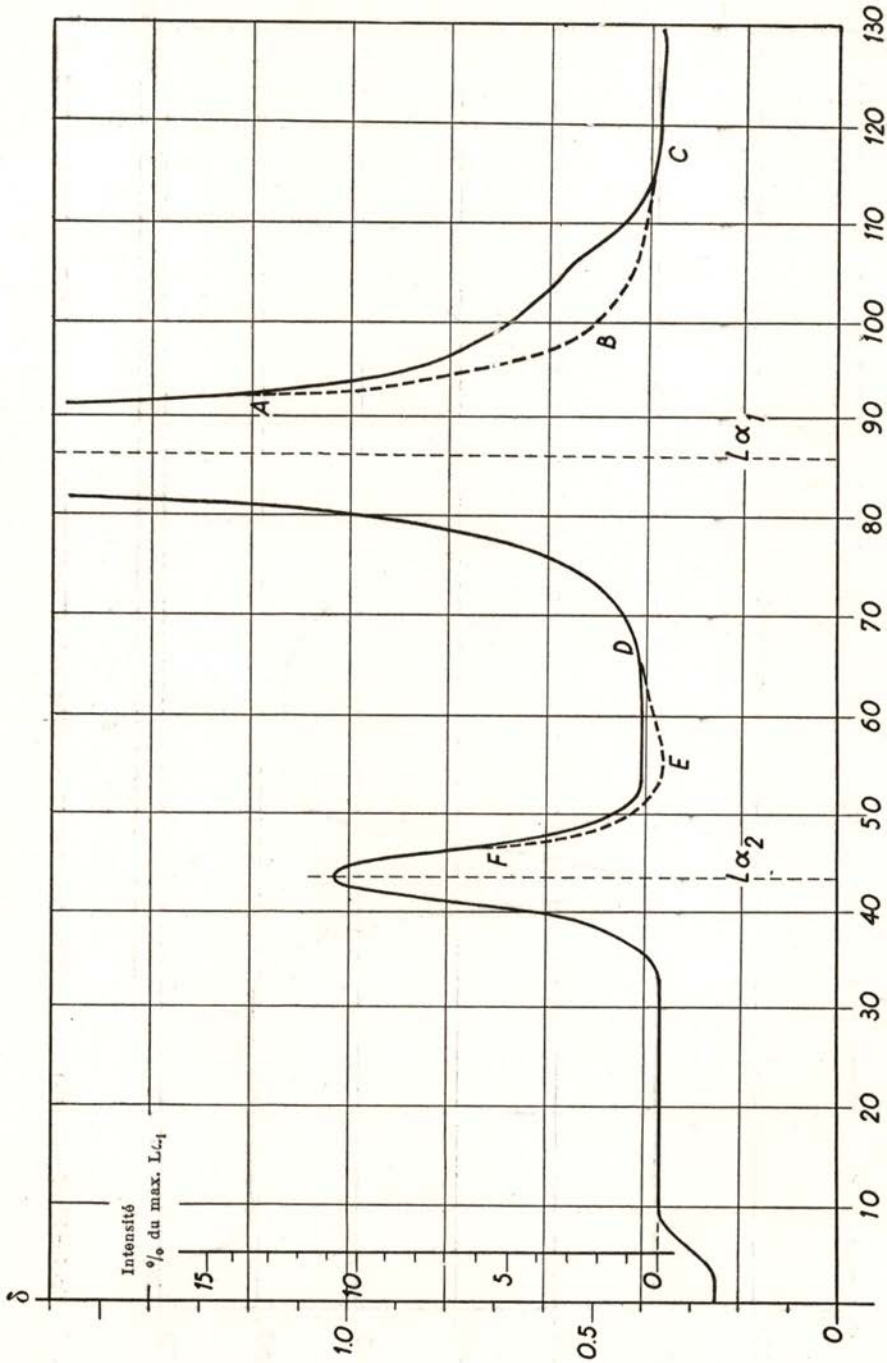


Fig. 2 — Courbe des Intensités

satelitte. Parrat [4] a déjà remarqué la difficulté et l'arbitraire de cette opération. Pour la réalizer nous avons admis que les raies $L\alpha_1$ et $L\alpha_2$ sont symmétriques et que dans les voisinages des maxima l'intensité de la bande est suffisamment petite pour qu'on puisse la négliger. Nous avons ainsi obtenu le fond sur lequel se détache la bande et qui est représenté sur la fig. 2 par la ligne pointillée *FED* et *ABC*.

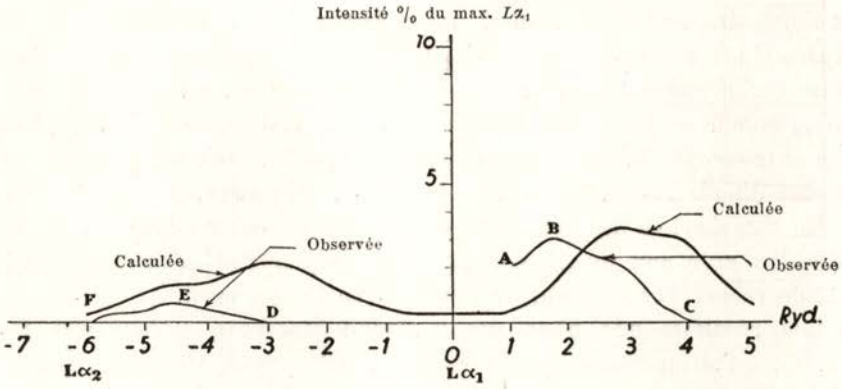


Fig. 3 — Bande satellite

Les branches *FED* et *ABC* de la fig. 3 ont été obtenus en soustrayant les ordonnées des courbes à trait plein et pointillée. Ces deux branches donnent la distribution observée de l'énergie dans la bande satellite. Nous y avons representé aussi, à échelle égale, la bande calculée par Ramberg.

Dans le tableau suivant nous comparons nos résultats à ceux de Richtmyer et aux valeurs calculées :

	Bande satellite $\nu > \nu_{L\alpha_1}$		Bande satellite $\nu_{L\alpha_2} < \nu < \nu_{L\alpha_1}$	
	Intensité maximum	Position du maximum	Intensité maximum	Position du maximum
J. Sarmento.	3,0 %	+1,73 *Ryd.*	0,8 %	−4,7 *Ryd.*
F. K. Richtmyer. . .	2,7 %	+1,96 »	—	—
Valeurs calculées . .	3,25 %	+2,8 »	2 %	− 3 *Ryd.*

5. Conclusions. Nos résultats s'accordent, tout au moins en partie, avec ceux de Richtmyer qui a travaillé avec un spectromètre à cristal double. Tandis que cet auteur a obtenu la valeur 2,7 % pour l'intensité

maximumd e la bande située dans la région $\nu > \nu_{L\alpha_1}$ nous avons déterminé la valeur 3,0 %; la différence est tout-à-fait admissible en pareilles mesures. On peut en dire autant en ce qui concerne la position du même maximum.

Richtmyer n'a pas trouvé trace de la bande prévue théoriquement entre les raies $L\alpha_1$ et $L\alpha_2$; nous avons observé cette bande et, malgré l'imprécision des mesures, determiné sa configuration, la longueur d'onde et l'intensité de son maximum. La configuration de la bande observée ressemble à celle prévue théoriquement. La différence signalée dans cette région entre les valeurs observées et calculées est du même ordre de grandeur de celle de la régions $\nu > \nu_{L\alpha_1}$. Les maxima de deux bandes se trouvent déplacés, par rapport à la théorie, vers les grandes longueurs d'onde respectivement de 1,1 et 1,7 Rydbergs.

En signalant ce déplacement systématique on espère donner une contribution utile aux théoriciens qui voudraient refaire la théorie dans le but de rechercher un meilleur accord avec l'expérience.

Les résultats que nous avons obtenu montrent, encore une fois [5, 6], qu'un spectrographe à cristal courbe, type Cauchois, permet d'obtenir des résultats qui ne sont pas inférieurs à ceux qui resultent de l'emploi d'un spectromètre à cristal double.

Ce travail a été realizé, en 1943-44, au Centre d'Études de Physique de la Faculté des Sciences de Lisbonne. L'auteur a bénéficié d'une bourse accordée par l'*Instituto para a Alta Cultura*.

BIBLIOGRAPHIE

[1] F. K. Richtmyer and E. Ramberg, *Phys. Rev.*, **51** (1937), p. 925.
[2] E. Ramberg and F. K. Richtmyer, *Phys. Rev.*, **51** (1937), p. 913.
[3] D. Coster, H. H. Kuipers and W. J. Huizinga, *Physica*, **2** (1935), p. 870.
[4] L. G. Parrat, *Phys. Rev.*, **50** (1936), p. 598.
[5] M. Valadares et F. Mendes, *C. R.*, **206** (1938), p. 744.
[6] M. Valadares, *Ricerca Scientifica*, **XI** (1940), p. 270.