

THÈSES DE L'ENTRE-DEUX-GUERRES

MAO-LIN TCHENG

Le spectre de Gamma Cassiopeiæ

Thèses de l'entre-deux-guerres, 1941

[<http://www.numdam.org/item?id=THESE_1941__241__1_0>](http://www.numdam.org/item?id=THESE_1941__241__1_0)

L'accès aux archives de la série « Thèses de l'entre-deux-guerres » implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

*Thèse numérisée dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques*
<http://www.numdam.org/>

N° D'ORDRE

152

THÈSES

PRÉSENTÉES

à la Faculté des Sciences
de l'Université de Lyon

POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR ÈS SCIENCES MATHÉMATIQUES

PAR

TCHENG MAO-LIN

Boursier du Centre National de la Recherche Scientifique.

1^{re} THÈSE : Le spectre de Gamma Cassiopeiae.

2^e THÈSE : Effet Tikhov-Nordmann et dispersion
de la lumière dans l'espace.

Soutenues le _____ devant la Commission d'Examen

MM. J. THIBAUD, *Président.*

H. EYRAUD } *Examineurs.*
J. DUFAY }

ÉDITIONS DE LA

REVUE D'OPTIQUE THÉORIQUE ET INSTRUMENTALE

165, Rue de Sèvres — 3 et 5, Boulevard Pasteur.

PARIS 15^e

— 1941 —

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DES SCIENCES

Doyen	M. DOUIN, *, ✱, ☉ I.
Assesseur	M. CARDOT, *, ☉ I.
Doyen honoraire.....	M. LONGCHAMBON, *, ✱, ☉ I., ✚,
Professeurs honoraires	{ MM. VESSIOT, C. *, ☉ I. RIGOLLOT, *, ☉ I. COUTURIER, *, ☉ I., ✚. DULAC, *, ☉ I. VANEY, *, ☉ I., ✚. ROMAN, *, ☉ I.
Professeurs.....	{ MM. MEUNIER, O. *, ☉ I., <i>Chimie industrielle.</i> SIRE, *, ☉ I., ✚, <i>Mécanique rationnelle et appliquée.</i> CARDOT, *, ☉ I., <i>Physiologie générale.</i> LOCQUIN, *, ☉ I., <i>Chimie générale.</i> LONGCHAMBON, *, ✱, ☉ I., ✚, <i>Minéralogie.</i> DOUIN, *, ✱, ☉ I., <i>Botanique.</i> DÉJARDIN, *, ☉ I., <i>Physique générale.</i> SOLLAUD, ☉ I., <i>Zoologie.</i> THIBAUD, ☉ A., <i>Physique expérimentale.</i> LEMARCHANDS, *, ☉ I., <i>Chimie minérale.</i> EYRAUD, ☉ I., <i>Calcul différentiel et intégral.</i> THORAL, ☉ A., <i>Géologie.</i> FROMAGEOT, ☉ I., <i>Chimie biologique.</i> AUMÉRAS, ☉ I., <i>Chimie physique.</i>
Maitres de conférences et chargés de cours.	{ MM. DŒUVRE, ☉ I., <i>Chimie organique.</i> PRETTRE, <i>Chimie minérale.</i> KÜHNER, <i>Botanique.</i> M ^{me} DUBREIL-JACOTIN, <i>Mathématiques.</i> MM. BERNARD, <i>Zoologie.</i> LAVAL, <i>Minéralogie.</i>
Maitre de conférences adjoint	M. BONNET, *, ☉ I., <i>Zoologie générale et agricole.</i>
Chargés de cours com- plémentaires	{ Mlle BACHRACH, ☉ I., <i>Physiologie.</i> MM. DUFAY, ☉ I., <i>Astronomie et Physique supérieure.</i> VIRET, ☉ I., <i>Etude des roches.</i> RANSON, <i>Géométrie supérieure.</i> TRONCHET, ☉ A., <i>Botanique.</i> MAYET, *, ☉ I., ✚, <i>Anthropologie.</i> PELOSSE, ☉ I., <i>Sériciculture.</i> DARESTE DE LA CHAVANNE, ☉ I., <i>Géographie physique.</i> SEYEWETZ, *, ☉ I., <i>Matières colorantes artificielles.</i> COLONGE, ☉ A., <i>Chimie générale.</i>
Secrétaire	M. ROUX, ☉ A.

A MES PARENTS

En faible témoignage de reconnaissance
pour tout ce que je leur dois.

A MONSIEUR J. DUFAY

**Directeur de l'Observatoire de Lyon
et de l'Observatoire de Haute Provence**

Hommages respectueux et reconnaissants.

A MONSIEUR LE DOYEN J. LÉPINE

Membre de l'Institut

Doyen de la Faculté de Médecine et Pharmacie de Lyon

Président de l'Association Universitaire Franco-Chinoise

En témoignage de ma gratitude et de mon
profond respect.

LE SPECTRE DE GAMMA CASSIOPEIÆ

par TCHENG MAO-LIN

SOMMAIRE. — *La première partie de ce travail concerne l'étude qualitative du spectre d'émission de Gamma Cassiopeïæ à l'époque où il montrait le plus grand nombre de raies brillantes (octobre 1937-juillet 1938). On y trouve la liste des raies mesurées de 3 750 à 5 876 Å, avec l'identification de plus des deux tiers d'entre elles.*

En plus des éléments déjà observés (He I, Fe II, Si II, Mg II...), on établit la présence en émission de quelques nouveaux ions comme Ti III, C II et N II. Les listes de raies communiquées par Mr. Swings ont permis d'identifier un grand nombre de raies de Fe III dont quelques unes avaient déjà été signalées par Swings et Edlén. Le potentiel d'ionisation de Fe III (30,5 volts) est le plus élevé de tous les ions sûrement présents.

La seconde partie du travail rapporte les mesures photométriques effectuées sur les raies brillantes de l'hydrogène, quelques raies de Fe II et He I. 55 clichés obtenus d'août 1936 à août 1939 ont été étudiés. Bien que les mesures portent seulement sur l'intensité relative des raies brillantes et du fond continu, l'existence de variations propres dans l'intensité des raies est certaine. D'une manière générale, l'intensité des raies brillantes a varié en sens inverse de l'éclat global. Ce résultat est à rapprocher du fait déjà connu que la température de couleur varie souvent, elle aussi, en sens inverse de l'éclat.

INTRODUCTION

Le spectre de Gamma Cassiopeïæ, rangé dans la classe B0e, a déjà fait l'objet de nombreuses recherches. On sait qu'il montre en émission les raies de l'hydrogène et celles de plusieurs métaux ionisés, comme Fe II. Avec une dispersion suffisante, les raies de Balmer, qui sont les plus intenses, apparaissent généralement formées de deux composantes brillantes séparées par une raie d'absorption.

Le spectre a été étudié en 1916 par Curtiss [1], qui n'y a pas constaté de variations. Cependant Mc Laughlin [2] y observait de légers changements, en examinant les clichés obtenus aussi à l'Observatoire du Michigan de 1911 à 1930.

Les observations très complètes de Lockyer [3] ont montré, en

1933, que les intensités de chacune des deux composantes des raies de Balmer subissaient des changements qui pourraient avoir une période de l'ordre de 4 ans. Un minimum a été prévu pour 1933. En 1935, avec ses nouvelles observations, Lockyer s'est aperçu que le minimum n'était pas atteint. Il a observé, de plus, un accroissement notable de l'absorption à l'intérieur des raies de Balmer et la présence de la raie très intense de l'hélium neutre 3 888 Å en absorption.

Au mois de juillet 1936, Baize a remarqué une augmentation appréciable de l'éclat de cette étoile. Presque aussitôt, Chalonge [4] a observé le spectre, avec son spectrographe astigmatique à prisme-objectif de quartz. Il constata un grand accroissement d'intensité des raies brillantes de Balmer, dont la structure individuelle n'apparaissait pas, à cause de la petite dispersion de son appareil.

En examinant les observations antérieures, on constate que le spectre de Gamma Cassiopeiæ a commencé à manifester de faibles variations à partir de 1928-1929. Des changements beaucoup plus marqués se produisent depuis 1934. Enfin le nombre et l'intensité des raies brillantes ont atteint leur maximum 3 ans plus tard, en 1937-1938.

Pour chercher à dégager la cause de ces variations, il serait fort utile de rassembler toutes les observations faites jusqu'ici sur cette étoile. Le présent travail représente une contribution à l'étude du spectre des raies brillantes de Gamma Cassiopeiæ et à celle de leurs variations.

Je diviserai mon exposé en deux parties.

La première sera consacrée à l'étude qualitative du spectre. Je dresserai une liste des raies brillantes observées à l'époque où elles étaient les plus nombreuses. J'insisterai sur la présence de nouveaux ions tels que Fe III, Ti III, N II, C II. Je donnerai quelques détails sur l'évolution du spectre.

Dans la deuxième partie, j'indiquerai la technique que j'ai suivie pour mesurer l'intensité des raies brillantes et je donnerai les courbes représentant les variations.

Je désire exprimer à Mr. J. Dufay, Directeur de l'Observatoire de Lyon et de l'Observatoire de Haute Provence, mes sentiments d'entier et affectueux attachement. Il ne m'a jamais ménagé ses encouragements et ses précieux conseils.

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE QUALITATIVE DU SPECTRE

CHAPITRE PREMIER

TECHNIQUE DES OBSERVATIONS

1. Instruments. — Le spectre de Gamma Cassiopeiæ est observé régulièrement à l'Observatoire de Lyon depuis 1936. Un grand nombre de clichés ont été obtenus d'abord par Mr. Ellsworth, puis par moi-même avec plusieurs spectrographes à prisme-objectif, dont voici les principales caractéristiques :

Le *spectrographe I* monté sur l'équatorial Brunner, comprend un prisme de flint de 60° et un objectif de 60 mm de diamètre et 210 mm de distance focale. La dispersion linéaire, au voisinage de quelques raies, est donnée dans le tableau I. Ce prisme, fait d'un verre de fabrication ancienne, présentait une bande d'absorption au voisinage de 4 200 Å.

Il a été remplacé en 1938 par un nouveau prisme de flint dense, plus dispersif, exempt de bande d'absorption dans le violet, mais moins transparent dans l'ultraviolet. La combinaison obtenue avec l'objectif du spectrographe I et le nouveau prisme sera appelé *spectrographe II* (dispersion linéaire donnée également dans le tableau I).

Le *spectrographe III* monté sur l'équatorial Eichens, comprend un prisme de 60° de même verre que le spectrographe II, mais de plus petites dimensions. associé à un objectif de 45 mm de diamètre et de 300 mm de distance focale. La dispersion est un peu plus grande que celle du spectrographe II, mais l'appareil est nettement moins lumineux. Il n'a été utilisé que par Mr. Ellsworth.

Enfin, le *spectrographe IV* est un spectrographe sans fente adapté à l'objectif photographique Zeiss de 170 mm d'ouverture et 1 200 mm

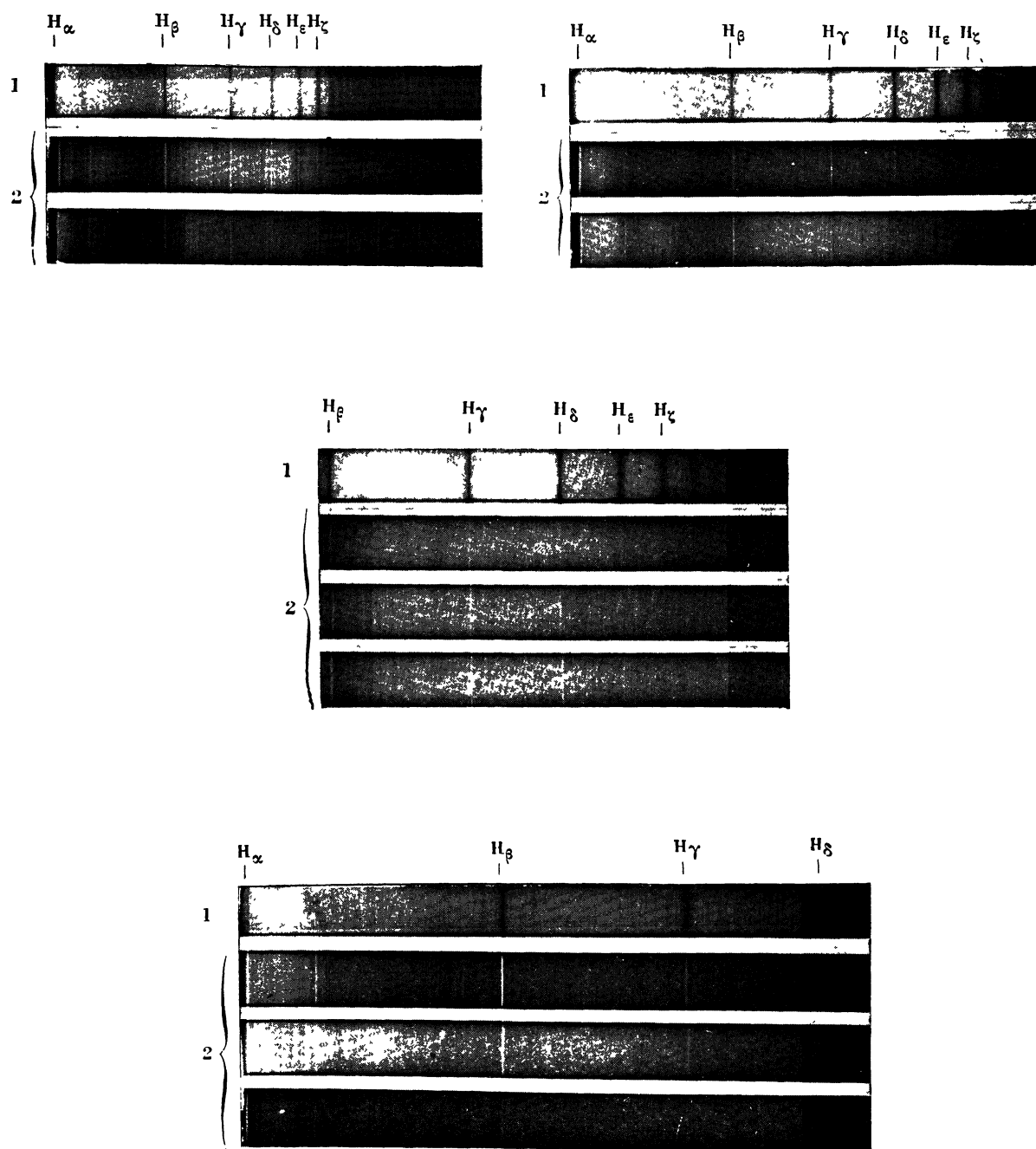


FIG. 1. — Spectres de Gamma (Cassiopeiæ) obtenus à diverses époques avec les différents spectrographes.

Tous les spectres sont agrandis dans le même rapport 3,2 et élargis, après la pose, par un procédé mécanique.

TABLEAU I

SPECTRO- GRAPHE	H _ζ	H _ε	H _δ	H _γ	H _β	4 924	5 016	5 169	5 316	5 876
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
I	88,3/mm	96,3/mm	110,1/mm	137,5/mm	206,4/mm	218,0/mm		257,1/mm		388,9/mm
II	55,6/mm	61,1/mm	70,8/mm	90,0/mm	140,1/mm	145,6/mm	156,3/mm	156,3/mm	196,6/mm	274,4/mm
III	38,2/mm	42,4/mm	49,2/mm	62,8/mm	98,7/mm					
IV	—	—	34,4/mm	47,2/mm	78,2/mm	883,4/mm	90,7/mm	103,3/mm	116,4/mm	172,7/mm

de distance focale, monté sur l'équatorial Brunner. Le faisceau stellaire qui forme une image de l'étoile dans le plan focal de cet objectif est rendu à nouveau parallèle par une lentille collimatrice de 175 mm de distance focale. Il traverse ensuite un prisme à vision directe et un objectif de 175 mm de distance focale (fig. 2).

Le spectre secondaire de l'objectif Zeiss ne permet pas de mettre rigoureusement au point dans toute l'étendue du spectre (de H_ζ à H_α), mais d'autre part le prisme à vision directe est très absorbant dans le violet, de sorte que la partie du spectre de longueurs d'onde inférieures à H_δ est sans intérêt. On peut obtenir une mise au point satisfaisante de H_γ à H_α. L'appareil, qui est de beaucoup plus dispersif (tableau I), a été utilisé pour photographier la région des grandes longueurs d'onde, entre H_γ et H_α.

2. Clichés utilisés. — Les spectres ont, dans la direction perpendiculaire à la dispersion, une hauteur de l'ordre de 0,2 à 0,4 mm. Cet « élargissement » est obtenu en arrêtant le mouvement d'horlogerie de l'équatorial pendant les poses. On laisse l'image de l'étoile se déplacer par suite du mouvement diurne entre deux fils d'ascension droite dans le micromètre de la lunette guide. Chaque fois que l'étoile atteint le deuxième de ces fils, on la ramène rapidement sur le premier en agissant sur le mouvement de rappel. Pourvu que le nombre de passage soit assez grand (au moins une dizaine), ce procédé d'élargissement donne des densités pratiquement uniformes.

Avec les spectrographes I et II, j'ai utilisé tantôt les plaques Guil-

leminot Superfulgur, avec des poses de l'ordre de 3 minutes, tantôt les plaques panchromatiques Agfa I. S. S., avec des poses de l'ordre de 8 minutes. Avec le spectrographe IV, j'ai utilisé surtout les plaques Agfa I. S. S., parfois hypersensibilisées à l'ammoniaque, avec des poses de l'ordre de 10 à 20 minutes.

Tous les spectrographes sont munis de porte-châssis à glissière, permettant de photographier plusieurs spectres sur chaque plaque. Une fente assez étroite, parallèle à la dispersion, permet d'éviter la

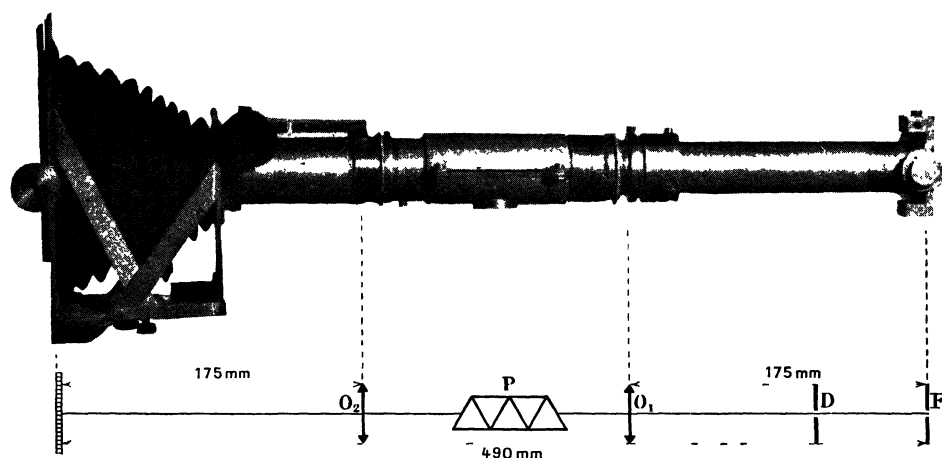


FIG. 2. — Spectrographe à vision directe (n° IV).

superposition des spectres des autres étoiles du champ et de réduire le voile du fond qui serait produit par les poses successives.

Pour mesurer les longueurs d'onde des raies brillantes, j'ai choisi 14 clichés obtenus à l'époque où celles-ci étaient les plus nombreuses et les plus intenses (octobre 1937-juillet 1938). La liste de ces clichés est donnée dans le tableau II.

3. Mesure des longueurs d'onde. — Un certain nombre de ces clichés ont été étudiés directement au comparateur. Tous ont été, d'autre part, enregistrés avec le microphotomètre de Moll. Pour donner plus d'homogénéité à mes mesures, je ne retiendrai ici que celles faites sur les enregistrements. L'expérience m'a montré que beaucoup de raies faibles, qui échappaient à l'observation directe, étaient facilement mises en évidence sur les enregistrements.

Le microphotomètre produit automatiquement un éclair chaque

fois que le cliché s'est déplacé de 0,1 millimètre. La division en dixièmes de millimètre du cliché est donc reproduite agrandie sur chaque enregistrement. Pour interpoler entre ces divisions, je me sers d'une règle de Wild (divisée en dixièmes de millimètre) et d'une forte loupe. J'évalue ainsi facilement la position d'une raie sur l'enregistrement à 2 ou 3 centièmes de millimètre près. Le facteur de grandissement linéaire que j'ai utilisé le plus souvent est 6,75. Ainsi l'erreur commise sur la position de la raie sur le cliché est de l'ordre de quelques microns. Avec les dispersions utilisées (tableau I), l'erreur correspondante sur chaque longueur d'onde sera en général de quelques dixièmes d'angström.

TABLEAU II

DATES D'OBSERVATION	INSTRUMENTS	PLAQUES UTILISÉES
15 octobre 1937	Spectrographe I	Agfa I. S. S.
21 mars 1938	Spectrographe I	Superfulgur
4 avril 1938	Spectrographe I	Agfa I. S. S.
8 avril 1938	Spectrographe IV	Agfa I. S. S.
avril 1938	Spectrographe IV	Agfa I. S. S.
19 avril 1938	Spectrographe I	Superfulgur
6 juin 1938	Spectrographe IV	Agfa I. S. S.
18 juin 1938	Spectrographe IV	Agfa I. S. S.
29 juin 1938	Spectrographe II	Agfa I. S. S.
6 juillet 1938	Spectrographe IV	Agfa I. S. S.
21 juillet 1938	Spectrographe IV	Agfa I. S. S.
25 juillet 1938	Spectrographe II	Superfulgur
27 juillet 1938	Spectrographe II	Agfa I. S. S.
21 août 1938	Spectrographe II	Agfa I. S. S.

Les longueurs d'onde λ sont calculées à partir des positions d sur les enregistrements par la formule hyperbolique de Cornu :

$$\lambda = a + \frac{b}{c - d},$$

où a , b et c sont trois constantes, déterminées au moyen de trois raies de longueurs d'onde connues dans le spectre de l'étoile. J'ai pris généralement, dans la région bleue et violette, trois raies de Balmer, par exemple H_α , H_γ et H_β . Dans la région des grandes longueurs d'onde, j'ai utilisé surtout H_β , Fe II 5 316 Å et He I 5 876 Å.

Je me suis astreint à mesurer sur chaque enregistrement tous les accidents pouvant correspondre à des raies brillantes. Bien des accidents faibles sont évidemment produits par la granulation de la plaque, mais ils se trouvent pratiquement éliminés lorsqu'on compare les mesures faites sur les enregistrements d'un assez grand nombre de clichés.

J'ai donc comparé les mesures faites sur les différents clichés et n'ai conservé que les accidents qui paraissaient se retrouver sur la plupart d'entre eux. Il est possible que j'aie été amené à conserver ainsi quelques raies illusoires (notamment parmi les plus faibles), mais dans l'ensemble, la réalité de la plupart des raies mesurées ne peut être mise en doute. Le fait de disposer de clichés obtenus avec des dispersions différentes m'a été très utile pour effectuer cette discrimination.

L'intensité des raies est estimée, à mesure qu'on lit leurs positions, suivant une échelle arbitraire, de 0 à 15. Il ne convient pas d'attribuer une importance extrême à ces estimations.

CHAPITRE II

RÉSULTATS DES MESURES IDENTIFICATION DES RAIES

4. Résultats des mesures. — Dans la première colonne du tableau III, je rassemble les longueurs d'onde résultant de l'ensemble de mes mesures. Dans la deuxième, la lettre n indique le nombre des clichés sur lesquels la raie a été mesurée. La lettre i de la troisième colonne donnera une idée de l'intensité, suivant l'échelle arbitraire dont il a été déjà question. Dans la colonne N divers signes indiquent des raies importantes (+), très importantes ($+$), douteuses (?), très douteuses' (??) ; la lettre D de la même colonne indique des longueurs d'onde dispersées. Les deux dernières colonnes enfin se rapportent aux identifications probables et possibles.

5. Résultats des mesures antérieures. — Pour m'en tenir aux observations récentes, je rappellerai ci-dessous les principaux résultats obtenus depuis 1932.

En 1932, Struve et Swings [5] ont trouvé en émission dans l'intervalle (H_ϵ — H_β) les raies des atomes suivants : H I, Mg II, Fe II, Sc II, Si II et Ni II. La présence de [Fe II] et Cr II restait douteuse. En absorption, ils ont trouvé les raies de He I, He II, O II, N II, Si IV et peut-être Si III. La raie de l'hélium neutre D_3 (5 876 Å) était seule visible en émission, mais très faible.

Dans la région comprise entre H_β et H_α , étudiée particulièrement par J. F. Heard [6], ont été identifiées des raies de He I, Cr II, Si II, Sc II et un grand nombre de raies de Fe II.

Depuis les changements appréciables que le spectre a manifestés en 1935, un bien plus grand nombre des raies d'émission sont devenues visibles. Une liste des raies observées en 1937, entre 3 700 et 5 000 Å, a été publiée par Ralph B. Baldwin [7]. En plus des éléments précédemment identifiés, il a reconnu la présence de Ca II, Al II et Ti II. Il a attribué de plus la raie 3 761 Å à Ca III et identifié provisoirement A II,

Si II, Mn I, Mg I, chacun de ces atomes n'étant caractérisé que par un petit nombre de raies ou même une seule raie.

Enfin, Ernest Cherrington Jr. [8] a publié tout récemment le résultat des mesures qu'il a effectuées en 1936-1937 dans la région comprise entre H_β et 6 700 Å. En plus des éléments déjà signalés, il identifie des raies brillantes de N II, C II, P II, Na II, etc...

TABLEAU III

λ	n	i	N	IDENTIFICATION PROBABLE	IDENTIFICATION POSSIBLE
3 751,3				H_α	
3 757,5	3	1,3		Ti II 57,7 (8)	
3 760,6	3	2,7		Ti II 61,3 (40 r), 59,3 (40 r)	Fe II 59,5 (6)
3 762,7	3	2,0		Fe II 62,9 (5)	
3 766,5	3	1,0		Cr II 66,7 (—), 65,6 (1)	
3 769,5				Ni II 69,5 (5)	
3 770,1				H_i	
3 773,8	5	1,8			Y II 74,3 (150)
3 781,7	5	1,6		Fe II 81,5 (1)	
3 784,3	5	1,0	+	Fe II 83,3 (4)	
3 791,2	5	1,6	+		Y II 88,2 (200), 92,5 (10 hl)
3 797,9				H_θ	
3 809,3	6	3,1			
3 814,5	5	2,4		Fe II 14,1 (4)	
3 819,2	5	1,6	+	He I 19,6 (4), 19,8 (1)	
3 824,5	6	1,4	?	Fe II 24,9 (4)	
3 827,6	5	2,2		N II 29,8 (3) ; Fe II 27,1 (4)	
3 835,8				H_γ	
3 841,2	4	2,2			Al II 42,2 (3)
3 849,2	6	1,8		Ni II 49,5 (2)	
3 855,1	7	2,8	+	Si II 56,0 (8) ; 53,7 (3)	
3 859,8	4	2,1		S II 60,6 (R_4) ; Al II 59,3 (3)	
3 862,9	7	2,0		Si II 62,6 (6)	
3 868,7	7	1,8	+	He I 67,5 (2) ; 67,6 (1)	
3 873,1	5	1,6			
3 878,2	7	2,4	+		Y II 78,3 (20)
3 881,5	4	1,4	?	Ni II 81,9 (1)	
3 889,1				H ; He I 88,7 (10)	
3 896,9	3	1,3	??		Y II 96,8 (10 hl)
3 901,6	6	1,5		Ti II 00,5 (50) ; Al II 00,7 (10)	
3 904,3	4	1,4			
3 907,1	4	0,9	?	Fe II 06,0 (5)	

λ	n	i	N	IDENTIFICATION PROBABLE	IDENTIFICATION POSSIBLE
3 909,6	6	0,8		Fe III 10,9 (4)	
{ 3 913,6	5	1,4	+	Ti II 13,5 (40) ; Fe II 14,5 (2)	
{ 3 915,7	3	2,2			A II 14,8 (7)
3 919,2	6	0,8		C II 20,7 (8) ; 19,2 (6)	N II 19,0 (6)
3 924,8	7	0,8		S II 23,4 (R ₅)	
3 929,9	5	1,0	?		Y II 30,7 (5) ; A II 28,6 (9)
3 932,2	8	1,6	+	Ca II 33,7 (400)	
3 936,4	5	1,1		He I 35,9 (1) ; Fe II 35,9 (6)	
3 940,6	8	1,8	+	Fe II 39,0 (4) ; 38,3 (2)	
3 945,3	5	1,0	+	Fe II 45,2 (p)	
3 947,4	2	1,5	?	Al II 46,1 (0,5d) ; Fe III 47,1 (4)	
{ 3 949,8	4	1,9			Y II 50,4 (200) ; 51,6 (10)
{ 3 951,9	4	1,5		Fe III 52,9 (4)	
3 950,9	8	1,7			
3 954,3	4	2,7			
{ 3 956,8	4	1,6			
{ 3 955,9	7	1,7		N II 55,9 (5)	
3 960,0	4	1,6		Fe II 60,9 (3)	
3 963,8	7	1,1	+	He I 64,7 (4)	Fe III 64,1 (5) ; 64,4 (3)
3 970,1				H ₂ ; Ca II 68,5 (350 R)	Fe III 68,8 (8)
3 975,9	3	1,2		Fe II 74,2 3 ; Fe III 75,1 (4)	
3 982,0	8	1,4	+		Y II 82,6 (150)
3 989,2	6	1,2	+	Sc II 89,1 (2)	S II 90,9 (R ₅)
3 993,2	5	1,7	?	Fe III 93,2 (15)	Si II 91,8 (2,u)
3 997,9	4	1,1	?	Al II 96,2 (4) ; 95,9 (5)	Si II 98,0 (1n)
4 000,1	5	2,3	+	Fe III 00,4 (4) ; 99,8 (4)	
4 004,5	5	1,5		Fe III 03,4 (4)	Al II 05,7 (0)
4 009,1	7	1,2		He I 09,3 (1)	Fe III 08,8 (5)
4 015,7	7	2,0	+	Sc II 14,5 (5)	Si II 16,2 (0) ; Ni II 15,5 (1)
4 022,5	4	1,4		Fe III 22,4 (4)	
4 026,3	5	2,7	+	He I 26,2 (1) ; 26,4 (5)	Ti II 28,4 (5)
4 030,9	4	1,1		Fe II 31,5 (1)	
4 035,6	7	0,9		Fe III 35,6 (4)	
4 040,0	6	1,4		Fe III 39,1 (3S)	
4 043,4	3	0,8	?	Fe III 44,0 (4)	N II 41,3 (5n) ; 43,5 (3n)
4 046,6	6	1,0			
4 052,1	4	2,4	+	Fe III 53,3 (5) ; Ti II 53,8 (4)	
4 056,9	4	2,0		Fe III 57,5 (4)	
4 062,6	4	2,4		Ni II 63,0 (3)	
4 065,6	6	1,7		Fe III 66,1 (4)	Ni II 67,0 (3)
4 071,2	4	1,6		C II 70,3 (3) ; 69,0 (3)	

λ	n	i	N	IDENTIFICATION PROBABLE	IDENTIFICATION POSSIBLE
4 077,3	5	2,5	+	Sr II 77,7 (400r) ; Si III 78,8 (2)	
4 082,9	8	1,4	+	Fe III 81,2 (7) ; Fe II 82,6 (1)	
4 088,5	3	0,7	?		
4 092,3	5	0,9		Fe II 93,2 (0) ; Ni 92,1 (1)	
4 101,7				H δ	
{ 4 103,9	6	3,7		Fe III 03,2 (4)	
{ 4 105,8	5	3,7			
4 107,4	5	1,2	?		Al II 08,9 (10)
4 109,2	6	2,2	??	Fe III 09,9 (5 ?)	
4 110,5	5	3,0	?	Fe II 11,9 (1)	
4 113,1	5	2,0	??	Fe III 13,2 (7) ; 13,4 (7)	
{ 4 118,7	5	3,2		Fe III 18,6 (8)	
{ 4 120,8	6	2,5		He I 20,8 (3) ; 21,0 (1)	Fe III 20,0 (4) ; 21,0 (8) ; 21,3 (6)
4 123,4	6	3,5		Fe II 22,6 (4)	
4 124,6	4	3,5		Fe II 24,8 (1)	Y II 24,9 (15)
4 126,4	5	1,0			
4 127,8	7	3,3	+	Fe II 28,7 (3) ; Si II 28,1 (8)	
4 131,0	7	2,5	+	Si II 30,9 (10)	
4 132,6	4	2,8	?		
4 134,0	5	1,5	?	Fe III 34,5 (4)	[Fe V] 36,4 (0 ?)
{ 4 136,0	8	1,5		Fe III 36,95 (4), 37,2 (2)	
{ 4 137,8	6	1,4		Fe III 37,9 (8)	
4 139,1	4	1,0		Fe III 39,4 (7), 40,5 (6)	
{ 4 143,5	6	1,7		He I 43,8 (2)	
{ 4 145,5	4	2,0		Fe III 45,7 (5)	
4 147,6	4	1,5	??	Fe III 46,8 (4)	Si II 46,9 (R ₆) ; [Fe II] 46,7
4 148,8	4	2,8			
4 149,5	5	1,3	+		
4 152,1	4	1,0	+	Si II 53,1 (R ₁₀)	
4 155,3	7	2,8	+	Fe III 55,0 (8)	
4 158,1	4	3,3	+		
4 160,0	7	1,7		Al II 60,3 (3) ; 60,2 (2,5)	
4 161,5	6	3,0		Sr II 61,8 (30)	Fe III 61,4 (4) ; Si II 62,6 (R ₁₀)
4 163,8	5	2,3		Ti II 63,7 (40)	
{ 4 166,0	5	2,7		Fe III 64,8 (20) ; 66,9 (9)	
{ 4 168,0	6	2,3		Fe III 68,4 (4) ; Si II 68,0 (R ₅)	Al II 68,4 (1)
4 169,7	4	1,2		He I 69,0 (1)	
4 171,8	6	2,6		Ti II 71,9 (30)	B II 72,1 (2)
4 173,5	6	3,2	?	Fe II 73,5 (8)	Ti II 73,6 (1)
4 174,3	4	2,3	?	Fe III 74,3 (10)	[Fe V] 75,2 (1)
{ 4 177,6	6	2,3		Fe II 77,7 (p)	Fe III 76,8 (4) ; Y II 77,5 (125)
{ 4 179,5	5	4,0	+	Fe II 78,9 (8)	Fe III 79,2 (5)

λ	n	i	N	IDENTIFICATION PROBABLE	IDENTIFICATION POSSIBLE
4 181,1	4	2,7	??		[Fe v] 81,4 (1)
4 183,0	6	1,3	?	Fe III 82,0 (4)	
4 184,8	5	3,0		Fe III 84,1 (4), 84,6 (3) ; 85,1 (3)	
4 187,0	4	1,2	?	Fe III 86,5 (4)	
4 189,4	5	3,0		Fe III 89,1 (7)	
4 190,5	4	0,3	??		
4 191,4	6	0,6		Si II 90,7 (3) ; Ti II 90,1 (1)	
4 194,8	5	2,8		Fe III 94,0 (4)	B II 94,8 (2)
4 197,2	7	2,2		Si II 98,2 (2)	
4 200,8	6	2,6	+	Ti III 00,2 (2) ; Fe III 00,1 (6)	
{ 4 205,6	6	1,9	+	Ti III 05,0 (2) ; Fe III 04,6 (4)	
{ 4 207,4	6	3,2	+	Ti III 07,5 (3)	
4 209,1	5	2,0	?		
4 210,8	5	1,3	?	Fe III 10,9 (10)	
4 212,5	4	2,3			
4 214,5	4	2,7	?	Sr II 15,5 (300r) ; Ti III 15,6 (5)	
4 216,7	5	1,3	??		
4 218,9	7	2,7	+		
4 221,1	7	2,5	$\frac{+}{+}$	Fe III 20,3 (5), 22,4 (8) ; Sc II 20,7 (75)	Sc II 4320,7 (75)
4 224,0	5	2,5	?		
4 225,8	4	1,8	??		[Fe v] 26,8 (2d)
4 228,0	6	2,8		Al II 27,5 (5), 26,8 (6)	
4 233,9	7	3,0	$\frac{+}{+}$	Fe II 33,2 (11)	Fe III 35,5 (10)
4 237,8	4	1,0	??	N II 37,0 (6u)	
4 239,2	6	1,2	?	Fe III 38,8 (5) ; Al II 40,8 (3)	
{ 4 242,6	5	3,5		Cr II 42,4 (5) ; N II 41,8 (8u)	Fe III 43,9 (8)
{ 4 246,3	6	4,0		Sc II 46,8 (75)	
4 249,5	6	1,7		Fe III 49,5 (7)	
4 251,9	5	2,7		Cr II 52,7 (1)	
{ 4 254,3	6	2,7	?	Fe III 53,6 (4)	
{ 4 256,6	4	2,0	???	Fe III 55,2 (5)	
4 258,0	6	2,3	+	Fe II 58,2 (3)	
4 263,0	5	2,6		Fe III 61,5 (4) ; 63,9 (4)	Cr II 62,0 (1) ; 62,3 (1)
4 266,3	6	3,3	$\frac{+}{+}$	C II 67,3 (10) ; 67,0 (8)	
4 268,7	5	2,6		S II 67,8 (R ₆)	
4 270,6	5	2,2	??	Fe III 71,5 (6)	
4 272,4	6	3,3		Fe II 73,3 (3) ; Fe III 73,4 (5)	
4 276,4	6	2,2		Cr II 75,5 (1) ; [Fe II] 76,8 (55,3)	
4 277,0	5	1,8			
4 279,0	4	3,0	+	Fe II 78,1 (1)	

λ	n	i	N	IDENTIFICATION PROBABLE	IDENTIFICATION POSSIBLE
4 281,0	5	2,0		Cr II 81,1 (—)	A II 82,9 (7)
4 284,2	4	2,0	??	Cr II 84,2 (—)	
4 286,0	4	2,0	?	Fe III 86,1 (10) ; Ti II 87,9 (2)	
4 289,8	6	2,4		Ti II 90,2 (8) ; Fe III 91,1 (4)	
4 294,5	5	2,2	?	Ti II 94,1 (8) ; Sc II 94,1 (10)	
4 296,5	6	3,7	+	Fe II 96,6 (6)	Fe III 96,9 (—)
4 299,5	3	3,0		Ti II 4 300,1 (12)	
4 301,7	6	2,3	+	Ti II 01,9 (5)	
4 303,9	7	1,6		Fe II 03,2 (8) ; Fe III 04,8 (10)	
4 307,9	6	2,7		Ti II 07,9 (12)	
4 312,1	6	2,1	+	Ti II 12,9 (7)	Fe III 10,4 (12)
4 314,5	6	2,5	+	Ti II 15,0 (5) ; Sc II 14,1 (100) ; Fe II 14,3 (4)	
4 318,4	6	2,4		C II 17,4 (4) ; 18,9 (2)	
4 322,8	6	3,2	+	Sc II 20,7 (75)	
4 326,7	7	2,8	+	Sc II 25,0 (50)	
4 330,4	6	1,7	?	Fe II 31,5 (3)	Ti II 30,7 (1)
4 340,5				H γ	
4 347,6	4	2,0	??	Al II 47,8 (4)	A II 48,1 (20u)
4 351,9	6	3,3		Fe II 51,8 (9)	Fe III 52,7 (4)
4 356,1	6	1,2	+	Al II 56,8 (1,5)	Fe II 57,6 (4)
4 359,7	7	3,0	+	[Fe II] 59,3 (80) ; 59,1 (B) ; 58,4 (35,3)	Y II 58,7 (30) ; Be II 60,7 (9) ; 61,0 (10)
4 364,6	6	2,0		Fe III 65,6 (3)	
4 367,8	6	0,6		Ti II 67,7 (1)	
4 370,0	3	1,3	??	Fe II 69,4 (2)	
4 372,1	6	2,1	+	Fe III 72,4 (20) ; 72,9 (—)	
4 374,2	6	1,2	??	Sc II 74,5 (60)	Y II 74,9 (500)
4 376,0	3	3,3	?		
4 378,0	7	1,8			A II 79,7 (8)
4 382,5	5	2,8		Fe III 82,5 (pred)	[Fe II] 82,8
4 384,1	5	2,6		Mg II 84,6 (8)	
4 386,4	7	2,9		Fe II 85,4 (7) ; Ti II 86,8 (10)	
4 389,6	3	0,7	??	He I 87,9 (3)	
4 391,1	5	2,4		Mg II 90,6 (10)	
4 393,5	6	2,4			
4 395,6	6	2,5	+	Ti II 95,0 (25) ; Fe III 95,8 (6)	
4 398,1	5	0,8		Ti II 99,8 (6)	
4 400,2	6	1,5	+	Sc II 00,4 (50)	
4 403,2	6	1,8	+	Fe II 02,9 (2)	
4 405,6	6	2,0			
4 409,5	4	1,2		Ti II 09,2 (tr.) ; 09,5 (tr.)	

λ	n	i	N	IDENTIFICATION PROBABLE	IDENTIFICATION POSSIBLE
—	—	—	—	—	—
4 411,2	4	1,1		Ti II 11,1 (15) ; 11,9 (1)	
4 413,5	5	2,6		[Fe II] 13,8 (60)	Fe II 13,5 (0)
4 416,5	5	2,4		Fe II 16,8 (7)	Ti II 17,7 (8) ; Sc II 15,6 (40)
4 419,8	4	2,2		Fe III 19,6 (10)	
4 423,6	7	2,3	+	Fe III 22,5 (5bl)	Y II 22,6 (30)
4 425,8	4	1,5	?		Al II 26,0 (15)
4 428,2	3	1,3	?	Mg II 28,0 (7)	
{ 4 430,1	6	2,4	+	Fe III 31,0 (7)	
{ 4 432,2	6	2,3	+	Sc II 31,5 (4) ; Al II 32,8 (0,5)	
4 435,5	5	1,5		Mg II 34,0 (8)	
4 437,7	4	0,5	??	He I 37,5 (1)	
4 440,0	6	2,3	+		
4 442,2	4	2,1		Ti II 43,8 (25)	
4 444,3	6	1,1		Fe II 44,6 (1) ; Ti II 44,6 (1)	
4 447,6	5	1,8		Al II 47,8 (3) ; N II 47,0 (10)	Fe III 47,9 (5bl)
4 451,1	7	2,0	+	Fe II 51,6 (4) ; Ti II 50,5 (4)	
4 453,7	4	1,7			
4 456,8	5	1,8		Fe III 55,3 (3)	
4 459,5	7	2,0	+		
4 463,1	6	1,3		S II 63,6 (R ₇)	
4 465,5	4	1,5	?	Ti II 64,5 (1)	Y II 65,4 (10 N)
4 468,7	3	1,3	??	Ti II 68,5 (25)	
{ 4 471,2	6	4,0	+	He I 71,5 (6), 71,7 (1)	
{ 4 473,1	5	2,7	+	Fe II 72,9 (2)	
4 478,1	4	0,7	??		
4 481,0	5	3,5	+	Mg II 81,3 (100) ; 81,1 (—)	Fe II 80,7 (1)
{ 4 483,1	5	3,5	+	Fe III 83,5 (4) ; 83,9 (4)	S II 83,4 (R ₆)
{ 4 486,9	5	1,3	+	Al II 85,8 (6)	
4 489,8	6	1,8	+	Fe II 89,2 (4) ; Ti II 88,3 (15)	
4 491,9	3	2,0	?	Fe II 91,4 (5)	
4 494,8	6	2,2			
4 498,1	6	1,2		Fe II 99,7 (0)	
4 501,7	5	0,6		Ti II 01,3 (25)	
4 504,8	5	1,6		Cr II 04,5 (—) ; Al II 03,0 (5)	
4 508,0	6	2,0	+	Fe II 08,3 (8)	
4 510,4	5	1,7			
4 512,5	4	1,1			
4 515,9	6	1,8		Fe II 15,9 (7)	
4 519,5	6	2,7		Fe II 20,2 (7)	
4 522,4	6	2,0		Fe II 22,6 (9)	
4 526,4	5	2,2	+		Ba II 25,0 (35)

λ	n	i	N	IDENTIFICATION PROBABLE	IDENTIFICATION POSSIBLE
4 531,6	4	2,2		N II 30,4 (5)	
4 533,7	5	1,6	+	Ti II 34,0 (20) ; Fe II 34,2 (*)	
4 536,4	4	0,7	??	Fe III 35,5 (5)	
4 539,0	4	2,1	?		
4 541,8	6	1,6		Fe II 41,5 (4)	
4 544,7	6	1,1		Fe III 44,0 (4), 45,1 (4)	A II 45,1 (10)
{ 4 548,7	7	3,3		Fe II 49,5 (10)	
{ 4 551,3	5	2,6		Ti II 49,6 (60)	
4 556,4	5	2,4		Fe II 55,9 (8) ; Cr II 55,0 (10)	
4 558,4	5	1,8		Cr II 58,7 (20)	
4 561,2	6	1,3		Fe III 59,1 (6)	
4 563,9	6	1,2		Ti II 63,8 (15)	
4 568,1	6	1,3		Fe III 67,4 (4), 67,8 (4)	Fe III 79,3 (4)
4 572,2	6	1,3		Ti II 72,0 (15)	Fe III 73,1 (5)
4 577,6	4	1,9		Fe II 76,3 (4)	
{ 4 583,8	7	4,5		Fe II 82,8 (3) ; 83,8 (11)	Fe III 81,6 (4)
{ 4 585,9	3	2,8	+		
4 589,2	4	0,0	?	Ti II 90,0 (3) ; Cr II 88,3 (20)	
4 593,6	5	1,2		Cr II 92,1 (4) ; Fe III 91,8 (4), 94,6 (4)	
4 596,7	6	0,8		Fe II 95,7 (*) ; Fe III 96,1 (5)	
4 600,0	7	1,9	+	Fe II 01,4 (*)	N II 01,5 (8)
4 604,6	6	1,5			
4 607,6	5	1,2	?	N II 07,2 (7)	
4 610,9	6	2,0		Al II 09,7 (1)	A II 09,6 (15)
4 613,9	4	1,2	?	N II 13,9 (6)	
4 617,1	5	1,5		Cr II 16,7 (3r) ; 18,8 (10)	
4 620,3	6	1,6	+	Fe II 20,5 (3)	N II 21,4 (7)
4 624,6	7	2,6			N II 25,9 (1) ; C II 25,7 (1)
{ 4 628,3	5	4,0	+		
{ 4 630,6	4	4,6	+	Fe II 29,3 (7)	N II 30,6 (10) ; C II 30,5 (1)
4 634,0	5	2,3	-	Fe II 35,3 (5) ; Cr II 34,1 (10)	
4 638,3	5	0,8	?	Al II 39,7 (2)	
4 643,5	5	2,6		N II 43,1 (8)	
4 646,6	5	0,6			
4 648,3	3	1,3	??	Fe II 48,3 (*)	
4 650,5	4	1,2	?	Al II 50,5 (2) ; 50,7 (1,5)	
4 656,4	6	1,0		Fe II 57,0 (1) ; Si II 56,8 (1)	
4 658,0	5	0,8			
4 660,3	3	1,7	??		
4 663,5	6	1,1		Fe II 63,7 (0)	
4 666,2	5	3,0	+	Fe II 66,8 (2) ; Al II 66,6 (11)	

λ	n	i	N	IDENTIFICATION PROBABLE	IDENTIFICATION POSSIBLE
—	—	—	—	—	—
4 670,1	6	2,7	+		
4 674,7	6	2,4	+	Sc II 74,5 (40)	Be II 73 (20)
4 679,6	5	1,2			
4 682,4	4	1,0		Si II 83,0 (2)	Y II 82,3 (20)
4 685,0	4	2,3			
4 688,6	5	1,7	?		
4 691,4	4	2,5			
4 693,7	6	2,2	+	Fe III 94,6 (4)	
4 699,5	6	2,5	+	Sc II 98,3 (2)	Cr II 98,8 (—)
4 702,3	5	0,4		[Fe III] 01,8 (2)	
{ 4 711,5	5	4,0	+		
{ 4 714,7	5	3,8	+	He I 13,4 (1) ; 13,1 (3)	
4 718,1	5	1,4			
4 721,5	5	1,0	?		
{ 4 730,0	6	2,3	+		
{ 4 732,5	5	1,6	+	Fe II 31,5 (3)	
4 736,0	4	1,5	?	Al II 35,9 (15)	
4 739,5	5	1,4			
4 744,6	5	1,3	?		
4 747,1	5	1,4			
4 751,7	4	2,0	?		
4 753,7	5	1,8			
4 756,4	3	1,8	?		
4 758,1	3	2,0	?		
4 761,2	4	2,2			
4 761,2	4	2,2			
4 763,8	7	2,0	+		
4 770,3	6	2,2	+		
4 773,0	4	1,5	?	Al II 74,3 (0,5)	
4 777,6	4	1,2	?		
4 779,3	5	0,8	?	Ti II 80,0 (2)	
4 783,4	5	2,5	+		B II 84,3 (2)
4 787,2	4	1,0	?		Y II 86,6 (20)
4 790,2	5	1,8			
4 793,4	6	1,4			
4 798,1	5	1,1	?	Ti II 98, 5 (2)	
4 799,7	3	2,3		[Fe II] 99,3	
4 805,8	4	2,0	?	Ti II 05,1 (4)	A II 06,1 (20)
4 811,5	6	2,5	+	Cr II 12,4 (2)	Fe II 10,8 (0)
4 817,8	5	0,9		S II 15,5 (R ₉)	
4 822,8	6	1,4		Cr II 24,1 (10)	Y II 23,3 (30)

λ	n	i	D	IDENTIFICATION PROBABLE	IDENTIFICATION POSSIBLE
4 826,0	5	2,6	+		Be II 28, (7)
4 834,8	5	1,8		Cr II 36,2 (2)	
4 839,4	5	1,7			
4 849,1	4	0,9	?	Cr II 48,3 (8)	
4 861,4				H β	
4 872,0	5	1,1		Ti II 74,0 (3)	
4 883,0	6	2,0	D		Y II 83,7 (150)
4 888,9	5	0,9	?	Al II 88,8 (5)	
4 892,8	5	1,8			
4 897,2	6	2,2		Al II 99,6 (3) ; 98,5 (2)	Y II 4 900,1 (150)
4 906,1	5	1,1		Si II 06,9 (1n)	
4 909,6	6	1,6	+		
4 917,2	3	1,2		Al II 18,9 (3)	
4 921,6	6	4,5	+	He I 21,9 (4)	
4 924,6	5	4,1	+	Fe II 23,9 (12)	
4 927,7	4	1,2	+		
4 936,1	6	2,0			Ba II 34,1 (700 R)
4 940,4	4	0,8	?	Fe III 40,5 (4)	Cr II 42,5 (8) ; B II 40,6 (3)
4 945,4	5	1,1			
4 950,1	6	2,0		Fe III 48,0 (4) ; 48,5 (5) ; 51,0 (4)	
4 958,4	6	1,8			
4 970,2	6	1,9	D		
4 975,2	5	2,3	D		
4 979,9	6	1,4	D		
4 984,6	6	1,0	D	Fe III 83,9 (2) ; 84,5 (3) ; 85,1 (3)	Y II 82,1 (15r)
4 989,2	5	1,6	?		
4 991,9	5	1,2	?	Fe II 93,4 (1) ; Fe III 90,8 (4)	
4 999,9	5	1,8		N II 01,5 (8) ; 01,1 (7)	
5 002,5		2,5		Fe III 02,0 (8)	
5 005,0	5	1,3		N II 05,1 (10)	
5 015,8	6	1,0	+	He I 15,7 (6) ; Fe II 18,4 (20)	
5 025,0	4	1,0	??	N II 25,7 (6)	
5 029,3	4	0,5	??	Fe III 30,8 (6)	Sc II 31,0 (40)
5 036,2	5	1,0	?	Fe III 35,8 (6)	
5 042,6	4	1,3	?	Si II 41,1 (8)	
5 053,9	6	3,2	+	Si II 55,9 (10) ; 56,4 (2)	
5 059,6	4	1,5	+		
5 063,7	5	2,0	+	Fe III 63,5 (pred)	
5 072,0	6	1,7	+	Fe III 73,8 (3) ; Ti II 72,3 (3)	
5 084,5	5	2,3		Al II 85,0 (4) ; Fe III 86,8 (pred)	
5 090,3	5	2,5	+		

λ	n	i	N	IDENTIFICATION PROBABLE	IDENTIFICATION POSSIBLE
5 098,1	5	1,8			
5 101,9	5	1,4	+	Fe III 00,7 (10)	
5 110,0	5	2,6			
5 118,4	4	1,0	?		Y II 19,1 (20) ; Cr II 16,2 (—)
5 123,8	4	1,1	?		Y II 23,2 (50)
5 128,9	7	1,9	+	Ti II 29,2 (8) ; Fe III 27,3 (6)	
5 133,9	5	2,0	+	Cr II 33,0 (3) ; 33,3 (2)	
5 145,6	5	0,5	?	Al II 45,7 (15d)	Cr II 45,2 (5)
5 150,6	5	0,5		Fe III 49,3 (7)	
5 154,4	6	1,5		Ti II 54,1 (1) ; Fe III 56,0 (4) ; 57,8 (4)	
5 161,0	4	0,8		Fe II 60,6 (1)	
5 168,6	6	4,1	+		
5 165,1	3	3,0	+		
5 169,1	3	2,0	+	Fe II 69,0 (12)	
5 180,2	3	1,7	??	Si II 81,8 (1)	
5 188,4	4	1,0	??	Ti II 88,7 (4)	
5 197,1	5	3,6	+	Fe II 97,6 (6)	
5 202,0	3	3,3	+	Si II 02,5 (3)	
5 207,9	3	0,6	??		
5 212,3	4	2,4	?		Cr II 10,9 (—)
5 216,0	4	2,2		Fe III 17,0 (8)	
5 225,2	5	1,6		Ti II 26,6 (3)	
5 231,4	5	1,8		Cr II 32,5 (—)	
5 234,7	3	2,2		Fe II 34,6 (7)	Fe III 35,5 (5)
5 238,9	6	2,4	+		
ou 5 239,6	4	2,5	+	Sc II 39,8 (15)	
5 245,7	6	1,2		Fe III 43,3 (10) { 4d ⁴ D ₅ — 5p ⁷ P ₄ ⁰ }	
5 250,0	3	2,0		Cr II 49,6 (—)	
5 252,5	5	1,0			
5 258,4	4	1,2		Fe II 56,9 (*)	
5 263,2	5	2,2		[Fe II] 61,6 (74,3)	
ou 5 264,3	3	3,0		Fe II 64,8 (2)	
5 268,4	4	2,0	+	[Fe II] 68,9 (34,3) ; Ti II 68,8 (1)	
5 273,1	4	2,2	+	Fe II 72,4 (2) ; Fe III 72,9 (6)	
5 276,6	6	2,6	+	Fe II 76,0 (7)	
5 281,9	3	1,7	??	Al II 80,2 (6), 83 (8)	Fe III 82,1 (7)
5 286,2	5	2,0	+	Fe II 84,1 ; Al II 85,9 (6)	Fe III 84,8 (5)
5 292,3	5	1,8		Fe III 91,8 (5)	
5 296,1	3	2,0	??	Si II 95,0 (1)	Fe III 97,9 (3)
5 302,5	4	2,2		Fe III 02,5 (6)	
5 303,3	5	2,4			

λ	n	i	N	IDENTIFICATION PROBABLE	IDENTIFICATION POSSIBLE
5 311,7	2	2,0		Al II 12,3 (5) ; Fe III 10,4 (4), 11,2 (4)	
5 316,6	7	5,0	+	Fe II 16,6 (8) ; 16,8 (4)	
5 326,6	5	1,8	+	Fe II 25,6 (2)	
5 331,9	4	1,5	?	Fe III 30,1 (3) ; 31,0 (3)	
5 339,7	6	2,8		Fe III 39,9 (7)	
5 341,7	1	3,0		Fe III 40,9 (5)	
5 346,3	3	1,6		Fe II 46,5 (*)	
5 349,4	3	1,7	?		
5 353,7	2	3,0		Fe III 53,8 (5)	
5 362,9	6	1,7		Fe II 62,9 (5)	
5 373,5	4	1,5		Al II 71,8 (6)	
5 383,5	5	1,4		Ti II 81,0 (4)	
5 388,9	4	1,3		Al II 88,5 (1)	
5 394,9	5	1,6			
5 398,9	4	1,4			
5 403,9	6	1,7	+	Fe III 02,3 (5)	Y II 02,8 (50%)
5 414,1	4	1,6		Fe II 14,1 (3)	
5 418,0	3	2,0	??		Cr II 20,9 (1)
5 425,9	5	2,4		Fe II 25,3 (2)	
5 432,3	5	1,2	? _D	S II 32,8 (R ₉) ; Si II 326 (0)	
5 439,9	5	1,2		Si II 38,4 (1)	
5 445,8	4	1,5		Si II 47,1 (0)	
5 452,6	7	1,1		S II 53,8 (R ₁₀)	
5 462,0	5	1,0	?		
5 466,0	4	1,0	?	Fe III 65,9 (4) ; 66,5 (5)	Fe II 66,0 (2) ; Si II 66,9 (0)
5 471,0	6	0,7		S II 73,6 (R ₅)	
5 479,4	5	0,7		Cr II 78,4 (1)	
5 493,1	6	1,8		Fe III 92,3 (3) ; 93,7 (3) ; 94,7 (2)	
5 499,6	3	1,7			
5 501,1	5	1,2		Al II 02,9 (3) ; Cr II 02,1 (1)	
5 507,3	5	1,0		Fe III 06,6 (6)	
5 514,1	5	1,0			
5 523,3	4	1,0			Y II 21,7 (20)
5 529,0	4	1,0	?	Fe II 29,9 (2)	
5 536,6	4	2,6	+	Fe II 34,9 (4)	
5 549,0	4	2,3			Y II 46,0 (10%)
5 557,4	4	1,2	? _D		
5 568,7	5	0,8		Fe II 67,8 (2)	
5 569,4	6	1,0			
5 576,6	3	2,2		Si II 76,6 (1)	

λ	n	i	N	IDENTIFICATION PROBABLE	IDENTIFICATION POSSIBLE
5 583,7	5	2,0			
{ 5 602,0	2	3,0			
{ 5 605,1	5	3,3	+	Si II 06,1 (R ₆)	
5 613,4	3	0,0	??	Al II 13,2 (3)	
5 620,4	6	0,2	?		
5 629,5	5	0,6	?		
{ 5 637,9	4	1,1			
ou { 5 638,6	5	1,4		Si II 39,5 (2) ; Si II 39,9 (R ₈) ; 40,2 (R ₅)	
5 655,4	4	1,8		Sc II 57,9 (15)	Ba II 53,7 (200)
5 664,8	5	2,7	+	C II 62,5 (4)	Y II 63,0 (200)
5 681,1	5	1,2		N II 79,5 (10)	
5 693,4	4	0,7	??	Al II 91,7 (1)	
5 701,3	6	0,0	??	Si II 01,4 (1)	
5 709,4	3	1,3	??		Cr II 07,9 (—)
5 724,3	6	1,9	+		
5 732,7	6	1,0	+	Fe II 32,7 ()	
5 748,9	3	1,5			
5 753,9	4	1,8			
5 759,2	4	1,3			
5 784,6	5	2,0		Si II 85,6 (1)	Y II 81,7 (15)
5 792,3	4	1,5		Si II 94,6 (0)	
5 802,0	6	1,2		Si II 00,1 (1) ; 06,8 (2)	
5 814,3	3	1,7	?	Fe II 13,7 ()	
5 829,1	5	1,5			
5 845,7	7	1,4	+		
5 858,6	4	0,5	?		
5 875,6	7	1,5	+	He I 75,6 (10) ; 76,0 (1)	

6. Identifications des raies de H_I, He_I, Fe_{II}. — L'identification des raies d'émission les plus intenses du spectre de Gamma Cassiopeiæ ne souffre aucune difficulté : on reconnaît, au premier coup d'œil, les raies de l'hydrogène et de l'hélium neutre, ainsi qu'un grand nombre de raies du fer ionisé.

H_I. — (Potentiel d'ionisation = 13,53 volts). Toutes les raies de Balmer sont visibles en émission sur mes clichés jusqu'à la limite ultraviolette imposée par l'absorption des prismes de flint. La dernière raie visible est généralement H _{α} 3 751,3 Å. L'intensité diminue graduellement de H _{α} vers l'ultraviolet.

He I. — (Potentiel d'ionisation = 24,46 volts). [H. N. Russell, *Astrophysical Journal*, 61 (1925), p. 221.]

Le tableau IV montre que presque toutes les raies connues sont présentes en émission sur mes clichés. Dans ce tableau, j'ai rassemblé, outre mes mesures, celles de Curtiss (1916), de Struve et Swings (1932), de Heard (1935), de Cherrington (1936-1937) et de Baldwin (1937) (Heard et Cherrington ont étudié seulement la région des grandes longueurs d'onde).

La plupart des raies n'étaient visibles qu'en absorption à l'époque des mesures de Curtiss et de Struve et Swings : elles sont indiquées par la lettre A dans les colonnes correspondantes et les deux raies visibles

TABLEAU IV. — He I.

λ DE LABORATOIRE	CURTISS 1916	STRUVE SWINGS 1932	HEARD 1932	CHERRINGTON 1936-1937	BALDWIN 1937	TCHENG 1937 1938
—	—	—	—	—	—	—
3 888,7 (10)	88,8 (6) E				88,8 (25)	H $_{\eta}$
5 015,7 (6)						15,8 (10)
3 964,7 (4)		65,0 (1) A			64,6 (5)	63,8 (1,1)
{ 5 876,0 (1)	76,0 (5) E		75,6 (10)	75,7 (SS)		75,6 (15)
{ 5 875,6 (10)						
{ 4 713,4 (1)	13,4 (5) A	13,0 (2) A			13,3 (3,5)	14,7 (3,8)
{ 4 713,1 (3)						
{ 4 471,7 (1)	71,8 (5) A	71,1 (3) A			71,5 (1,8)	71,2 (4)
{ 4 471,5 (6)						
{ 4 120,8 (3)		20,5 (6) A			20,8 (2,5)	20,8 (2,5)
{ 4 121,0 (1)						
{ 4 026,2 (1)	26,6 (12n) A	26,8 (10) A			26,8 (8)	26,3 (2,7)
{ 4 026,4 (5)						
{ 3 867,5 (2)					67,5 (0)	68,7 (1,8)
{ 3,867,6 (1)						
{ 3 819,6 (4)					19,6 (3)	19,2 (1,6)
{ 3 819,8 (1)						
6 678,2 (6)				77,8 (S)		
5 047,7 (2)	48 (7) A					
4 921,9 (4)				23,0 (S)	21,5 (0,3)	21,6 (4,5)
4 437,6 (1)		37,6 (1) A				37,7 (0,5)
4 387,9 (3)		88,0 (4) A			88,0 (3)	89,6 (0,7)
4 143,8 (2)	44,1 (8n) A	44,1 (6) A			43,8 (3)	43,5 (1,5)
4 009,3 (1)		09,2 (8) A			09,3 (1,2)	09,1 (1,2)

en émission sont suivies de la lettre E. Dans la liste de Cherrington, la lettre S (strong) caractérise les raies intenses, les lettres SS les raies les plus intenses. Les lettres s, w et W (weak) concernent des raies de plus en plus faibles.

Les raies les plus caractéristiques sont :

5 876, 5 016, 4 922, 4 713, 4 471, 4 144, 4 120, 4 026, 3 965, 3 868, 3 819 Å

La forte raie 3 888,7 Å (10) est blend avec H_ε (3 889,1).

FeII. — (Potentiel d'ionisation = 16,5 volts). [F. G. Dobbie, *Annals of the solar physics Observatory, Cambridge*, Vol. V, Part I (1938), p. 1 ; H. N. Russell, *Astrophys. Journ.*, 61 (1925), p. 221 ; *Contributions from the Mount Wilson Solar Observatory*, 14 (1926), p. 304.]

FeII est toujours l'élément le plus caractéristique du spectre de Gamma Cassiopeiæ : certaines de ses raies sont aussi intenses que celles de l'hélium et le nombre des raies présentes est considérable.

Les raies attribuées à FeII sont contenues dans le tableau V, qui rassemble les mesures de Curtiss, de Struve et Swings, de Heard, de Baldwin, de Cherrington et les miennes.

TABLEAU V. — FeII.

λ DE LABORATOIRE	CURTISS 1916	STRUVE-SWINGS 1932	BALDWIN 1937	TCHENG 1937-1938
—	—	—	—	—
3 759,5 (6)			59,0 (0)	
3 762,9 (5)			62,5 (0)	62,7 (2,0)
3 781,5 (1)				81,7 (1,6)
3 783,3 (4)			83,3 (0,7)	84,3 (1,0)
3 814,1 (4)				14,5 (2,4)
3 824,9 (4)			24,9 (0,7)	24,5 (1,4)
3 827,1 (4)				27,6 (2,2)
3 906,0 (5)			06,0 (0)	07,1 (0,9)
3 914,5 (2)			14,3 (0)	14,6 (1,4)
3 935,9 (6)			35,9 (0,3)	36,4 (1,1)
3 938,2 (2)				
3 939,0 (4)			38,4 (1)	40,6 (1,8)
3 945,2 (p)			45,5 (0,3)	45,3 (1,0)
3 960,9 (3)			61,0 (0)	60,0 (1,6)
3 974,2 (3)			74,3 (0,3)	75,9 (1,2)
4 002,6 (2)			02,3 (0)	

λ DE LABORATOIRE	CURTISS 1916	STRUVE-SWINGS 1932	BALDWIN 1937	TCHENG 1937-1938
—	—	—	—	—
4 031,5 (1)			32,6 (0)	30,9 (1,1)
4 092,0 (0)				92,3 (0,9)
4 111,9 (1)				10,9 (3,0)
4 122,6 (4)		23,0 (2)	22,8 (1,5)	23,6 (3,5)
4 124,8 (1)			24,7 (0)	24,6 (3,5)
4 128,7 (3)			28,2 (3,5)	27,8 (3,3)
4 173,5 (8)		72,0 (2)	73,4 (5)	73,5 (3,2)
4 177,7 (p)	77,4 (3) E.A		77,6 (1)	77,6 (2,3)
4 178,9 (8)		78,1 (3)		79,8 (4,0)
4 233,2 (8)	33,6 (5)E	33,2 (10)	33,2 (9,5)	33,9 (3,0)
4 258,2 (3)			58,2 (1,0)	58,4 (2,4)
4 273,3 (3)	71,8 (5)E		73,3 (1,0)	72,4 (3,3)
4 278,1 (1)			78,0 (0)	79,0 (3,0)
4 296,6 (6)		97,0 (3)	96,5 (3,5)	96,5 (3,7)
4 303,2 (8)		03,1 (3)	03,2 (5,5)	03,9 (1,9)
4 314,3 (4)			14,2 (0,7)	14,5 (2,5)
4 351,8 (9)	53,3 (4) E	51,6 (6)	51,8 (7)	51,9 (3,3)
4 357,6 (4)				56,1 (1,2)
4 369,4 (2)			69,3 (0,7)	70,0 (1,3)
4 385,4 (7)	84,3 (5) E	85,0 (8)	85,2 (3,5)	86,4 (2,9)
4 402,9 (2)				03,2 (1,8)
4 413,6 (0)			13,7 (0)	
4 416,8 (7)		17,0 (1)	16,8 (3,5)	16,5 (2,4)
4 451,6 (4)				51,1 (2,0)
4 455,3 (3)				55,3 (1,8)
4 472,9 (2)			71,5 (18)	73,1 (2,7)
4 489,2 (4)			89,1 (2,5)	89,8 (1,8)
4 491,4 (5)	91,5 (4) E	90,8 (5)	91,5 (3)	91,9 (2,0)
4 499,7 (0)				98,1 (1,2)
4 508,3 (8)		08,0 (5)	08,3 (5)	08,0 (2,0)
4 515,3 (7)		16,0 (3)	15,4 (4,5)	15,9 (2,7)
4 520,3 (7)			20,2 (4)	19,5 (2,7)
4 522,9 (9)	21,8 (3) E	22,4 (5)	22,8 (4)	22,4 (2,0)
4 534,2 (2)		33,6 (2)	34,3 (1)	33,7 (1,6)
4 541,5 (4)		41,0 (1)	41,6 (1,6)	41,8 (1,6)
4 549,2 (4)				
4 549,5 (10)		48,9 (4)	49,5 (7)	48,7 (3,3)
4 555,9 (8)		56,7 (4)	55,9 (4,5)	56,4 (2,4)
4 576,3			76,3 (2)	77,6 (1,9)
4 583,8 (11)	83,8 (5,7) E	83,6 (10)	83,8 (9,5)	83,8 (4,5)

λ DE LABORATOIRE	CURTISS 1916	STRUVE SWINGS 1932	BALDWIN 1937	TCHENG 1937 1938
4 595,7 (*)			95,7 (0)	96,7 (0,7)
4 601,4 (*)			01,4 (0,3)	00,0 (1,9)
4 620,5 (3)			20,6 (1)	20,3 (1,6)
4 625,9 (1)			25,5 (0)	24,6 (2,6)
4 629,3 (7)	29,3 (6) E	28,8 (3)	29,5 (5)	30,6 (4,0)
4 635,3 (5)			35,4 (1)	34,0 (2,3)
4 648,3 (*)				48,3 (1,3)
4 657,0 (1)	57,0 (7)	56,6 (3)	56,3 (0,3)	56,4 (1,0)
4 663,7 (0)			62,9 (0,7)	63,5 (1,1)
4 666,8 (2)		67,4 (3)	66,8 (0,3)	66,2 (3,0)
4 731,4 (3)		31,5 (2)	31,7 (1,5)	30,0 (2,3)
		HEARD 1935	CHERRINGTON 1936 1937	
4 923,9 (12)	25,7 (5) E	24,3 (7)	23,0 (S) He I	24,6 (4,1)
4 954,0 (0)			55,1 (W)	
4 993,4 (1)			93,9 (W)	91,9 (1,2) Fe III
5 018,4 (12)	18,3 (4) E	18,5 (5)	18,6 (S)	He I 15,7 (6)
5 074,1 (1)				
5 075,8 (1)			75,9 (W)	
5 082,3 (0)			83,4 (W)	
5 087,3 (0)			86,6 (W)	
5 093,5 (1)			92,9 (W)	
5 100,6 (2)			00,7 (W)	
5 100,8 (4)				
5 127,9 (1)			27,6 (w)	
5 156,1 ()			56,5 (W)	
5 160,1 (1)			61,0 (W)	61,0 (0,8)
5 160,8 (1)				
{ 5 169,0 (12)	69, (6) E	68,9 (5)	69,1 (S)	69,1 (2,0)
{ 5 169,7 (1)				
5 173, (0)			73,3 (W)	
5 180,4 (1)				80,2 (1,7)
{ 5 196,6 (1)		97,8 (4)	97,4 (S)	97,1 (3,6)
{ 5 197,6 (6)				
5 234,6 (7)			34,6 (S)	34,7 (2,2)
5 256,9 ()		54,6 (1)	55,1 (w)	58,4 (1,2)
{ 5 264,2 (1)		64,7 (2)	64,6 (w)	64,3 (3,0)
{ 5 264,8 (2)				

λ DE LABORATOIRE	CURTISS 1916	HEARD 1935	CHERRINGTON 1936 1937	TCHENG 1937-1938
—	—	—	—	—
{ 5 275,0 (?)	78, (3) E	75,3 (3)	75,9 (S)	76,6 (2,6)
{ 5 276,0 (7)				
5 284,1 (3)				
{ 5 316,6 (8)	17,4 (4) E	16,4 (5)	16,7 (S)	16,6 (5,0)
{ 5 316,8 (4)				
5 325,6 (2)				
5 346,5 ()	27,2 (2) E	26,2 (1)	25,6 (w)	26,6 (1,8)
5 362,9 (5)			46,9 (W)	46,3 (1,3)
5 408,8 (1)			62,6 (S)	62,9 (1,7)
5 414,1 (2)	26, (3) E	24,7 (1)	08,1 (W)	14,1 (1,6)
5 425,3 (2)			15,3 (W)	
5 427,8 (3)			24,9 (W)	
5 435,7 ()	34,5 (3)	34,5 (3)	27,8 (W)	25,9 (2,4)
5 466,0 (2)			35,9 (W)	
5 519,9 ()			66,2 (s)	
5 525,1 ()	34,5 (3)	34,5 (3)	19,7 (W)	29,0 (1,0)
5 529,9 (2)			23,6 (W)	
5 534,9 (4)			28,9 (w)	
{ 5 544,8 ()	34,5 (3)	34,5 (3)	35,9 (W)	36,6 (2,4)
{ 5 545,3 ()			44,0 (W)	
5 567,8 ()			68,7 (W)	
5 627,5 ()	34,5 (3)	34,5 (3)	68,7 (W)	68,7 (2,0)
5 732,7 ()			26,8 (W)	
5 779,7 ()			32,7 (W)	
5 813,7 ()	34,5 (3)	34,5 (3)	32,7 (W)	32,7 (1,0)
			78,5 (W)	
			12,8 (W)	

7. Les raies de Fe^{III}. (Potentiel d'ionisation = 30,48 volts).

Avant de passer en revue les autres éléments, tels que Si^{III}, Ti^{III}, Mg^{II}, etc., dont la présence est déjà connue dans le spectre de Gamma Cassiopeiæ, il me paraît indispensable d'établir la présence du fer doublement ionisé. Nous allons voir, en effet, que cette identification nouvelle permet d'interpréter un grand nombre de raies d'intensité moyenne et que les raies des autres éléments risquent souvent d'être plus ou moins masquées par celles de Fe^{III}.

L'idée d'attribuer à Fe^{III} certaines raies de Gamma Cassiopeiæ revient à Swings et Edlén [9]. Ils ont proposé d'identifier trois raies de Gamma Cassiopeiæ à des raies calculées par eux de Fe^{III}. Depuis, Swings et Edlén ont étudié au laboratoire le spectre de Fe^{III} et, en

comparant leurs longueurs d'onde à celles mesurées par H. Kühnborn [10] dans le spectre de Gamma Pegasi (B2), ils ont trouvé que le spectre de Fe III était bien représenté en absorption dans le spectre de cette étoile [11]. Ils ont trouvé, d'autre part, un certain nombre de raies de Fe III en émission dans le spectre de P Cygni et de BD + 11° 4 673.

Je tiens à remercier MMrs. Swings et Edlén, qui ont bien voulu me communiquer la liste encore inédite des raies de Fe III présentes dans le spectre de Gamma Pegasi. C'est grâce à eux que j'ai pu identifier un grand nombre de raies de Fe III dans le spectre de Gamma Cassiopeiæ ⁽¹⁾.

Le Tableau VI permet de comparer les longueurs d'onde des raies mesurées au laboratoire et celles des raies de Gamma Cassiopeiæ qui sont à peu près exemptes de blends. Un certain nombre d'entre elles n'ont pas été trouvées dans Gamma Pegasi, mais Mr. Swings a bien voulu me communiquer également leurs longueurs d'onde.

Parmi les plus caractéristiques, citons :

Fe III	GAMMA CASSIOPEIÆ
—	—
4 155,0 (8)	4 155,3 (3)
{ 4 164,8 (20)	
{ 4 166,9 (9)	4 166,0 (3)
4 174,3 (10)	4 174,3 (2,5)
4 210,9 (10)	4 210,8 (1,5)
{ 4 220,3 (5)	
{ 4 222,4 (8)	4 221,1 (2,5)
4 286,1 (8)	4 286,0 (2)
4 372,4 (20)	4 372,1 (2,5)
4 382,5 (pred)	4 382,5 (3)
4 419,8 (10)	4 419,8 (2,5)
4 430,9 (7)	4 430,1 (2,5)
5 002,0 (8)	5 002,5 (2,5)
5 100,7 (10)	5 100,2 (2)
5 217,0 (8)	5 216,0 (2)
5 339,9 (7)	5 339,7 (2,5)

⁽¹⁾ Une liste des principales raies de Fe III trouvées dans Gamma Cassiopeiæ a été publiée en collaboration avec J. Dufay [12].

Le spectre de Fe III est, dans son ensemble, particulièrement bien représenté dans Gamma Cassiopeiæ.

TABLEAU VI. — Fe III.

λ DE LABORATOIRE	λ OBSERVÉS γ CASSIOPEIÆ	λ DE LABORATOIRE	λ OBSERVÉS γ CASSIOPEIÆ
3 910,9 (4)	09,6 (1)	4 419,6 (10)	19,8 (2,2)
3 993,2 (15)	93,2 (1,7)	4 430,9 (7)	30,1 (2,4)
4 000,4 (4)	00,1 (2,3)	4 535,5 (5)	36,4 (1)
4 003,4 (4)	04,5 (1,5)	4 544,0 (4)	44,7 (1)
4 022,5 (4)	22,5 (1,4)	4 545,1 (4)	
4 035,5 (4)	35,6 (0,9)	4 559,1 (6)	61,2 (1,3)
4 039,2 (3s)	40,0 (1,4)	4 567,4 (4)	68,1 (1,5)
4 081,3 (7)	82,9 (1,5)	4 567,8 (4)	
4 103,2 (4)	03,9 (3,7)	4 948,0 (4)	50,2 (2)
4 110,0 (5)	09,2 (2,2)	4 948,5 (5)	
4 113,2 (7)	13,1 (2)	4 951,0 (4)	
4 113,5 (7)		4 983,9 (2)	84,6 (1)
4 118,6 (8)	18,7 (3,2)	4 984,5 (3)	
4 137,0 (4)	36,0 (1,5)	4 985,1 (3)	
4 137,2 (2)	37,8 (1,4)	5 002,0 (8)	02,5 (2,5)
4 137,9 (8)		5 035,8 (6)	36,2 (1)
4 139,4 (7)	39,1 (1)	5 063,5 (pred)	63,7 (2)
4 140,5 (6)		5 073,8 (3)	72,0 (1,7)
4 145,7 (5)	45,5 (2)	5 100,7 (10)	00,2 (2)
4 146,8 (4)		5 156,0 (4)	54,4 (1,5)
4 155,0 (8)	55,3 (2,8)	5 157,9 (4)	
4 164,8 (20)	66,0 (2,7)	5 217,0 (8)	16,0 (2)
4 166,9 (9)		5 243,3 (10)	45,7 (1,5)
4 174,3 (10)	74,4 (2,5)	5 260,2 (10)	60,4 (1)
4 182,0 (4)	83,0 (1)	5 291,8 (5)	92,3 (2)
4 184,1 (4)	84,8 (3)	5 302,5 (6)	02,5 (2)
4 186,5 (4)	87,0 (1)	5 330,1 (3)	31,9 (1,5)
4 189,1 (7)	89,4 (3)	5 331,0 (3)	
4 210,9 (10)	10,8 (1,5)	5 339,7 (7)	39,7 (2,5)
4 220,3 (5)	21,1 (2,5)	5 340,9 (5)	41,7 (3)
4 222,4 (8)		5 353,8 (5)	53,7 (3)
4 249,9 (7)	49,5 (1,5)	5 465,9 (4)	66,0 (1)
4 255,2 (5)	56,6 (2)	5 466,5 (5)	
4 271,5 (6)	70,6 (2,2)	5 492,3 (5)	93,1 (2)
4 286,1 (10)	86,0 (2)	5 493,7 (3)	
4 372,7 (20)	72,1 (2,5)	5 494,7 (2)	
4 382,5 (pred)	82,5 (3)	5 506,7 (6)	07,3 (1)

8. Raies de Si II, Mg II, Al II, Ti II et Sc II.

Si II. — (Potentiel d'ionisation = 16,26 volts). [A. Fowler, *Phil. Trans. Royal Society, London*, 225, A (1926), p. 41].

Les raies les plus intenses et les plus caractéristiques sont :

$$3\,856,0, \quad 3\,862,6, \quad 4\,130,9 \text{ Å.}$$

La forte raie 4 128,1 est superposée à la raie 4 128,7 de Fe II.

Mg II. — (Potentiel d'ionisation = 14,96 volts). [H. N. Russell, *loc. cit.*].

Toutes les raies prévues sont présentes et semblent exemptes de blends :

Mg II	GAMMA CASSIOPEIÆ
—	—
$\left\{ \begin{array}{l} 4\,481,3 \text{ (100)} \\ 4\,481,1 \text{ —} \end{array} \right.$	4 481,0 (3,5)
4 434,0 (8)	4 435,5 (1,5)
4 428,0 (7)	4 428,2 (1,3)
4 390,6 (10)	4 391,1 (2,4)
4 384,6 (8)	4 384,1 (2,6)

La raie 4 481 Å est naturellement la plus intense et la plus caractéristique.

Al II. — (Potentiel d'ionisation = 18,73 volts). [Kayser, *Handbuch der Spektroskopie*, VIII, Band I (1932), p. 35].

La plupart des raies attribuées à Al II sont assez faibles. La plus forte 4 228,0 Å (2,8) semble résulter de la superposition de Al II 4 227,5 (5) et 4 226,8 (6) ; viennent ensuite, parmi les raies les plus caractéristiques : 4 160,0 (1,7) résultant de Al II 4 160,3 (3) et 4 160,2 (2,5) ; 4 486,9 (1,3), attribuée à Al II 4 185,8 (6). Enfin la raie Al II 3 900,7 (10) est blend avec Ti II 3 900,5 (50).

Ti II. — (Potentiel d'ionisation = 13,6 volts). [H. N. Russell, *loc. cit.* ; *Contribution from the Mount Wilson Solar Observatory*, 344 (1927), p. 13].

Le multiplet $1p^4 - 1d'^2$ semble particulièrement intense :

4 312,9 (7)	trouvé à 4 312,7 Å (2,1)
4 307,9 (12)	4 307,9 (2,7)
4 301,9 (5)	4 301,7 (2,3)
4 300,1 (12)	4 299,5 (3,0)
4 290,2 (8)	4 289,8 (2,4)... blend Fe III 4 291,1 (4).

Les autres raies sont généralement plus faibles, par exemple :

4 443,5 (25)	trouvé à	4 442,2 Å (2,1)
4 468,5 (25)		4 468,7 (1,3)
4 501,3 (25)		4 501,7 (0,6)
4 563,8 (15)		4 563,9 (1,2).

Enfin beaucoup sont blends.

Sc II. — (Potentiel d'ionisation = 12,8 volts). [H. N. Russell, *loc. cit.*].

La forte raie 4 246,3 Å (4,0) de Gamma Cassiopeiæ correspond à l'une des raies les plus intenses et les plus caractéristiques de Sc II 4 246,8 (75). Parmi les autres fortes raies de cet atome, on trouve encore :

4 400,4 (50)	trouvé à	4 400,2 Å (1,5)
4 374,5 (60)		4 374,2 (1,2)... peut-être blend Y II 4 374,9 (300)
4 314,1 (100)		4 314,5 (2,5)... blend Fe II et Ti II.

Les raies 4 322,8 (3,2) et 4 326,7 (2,8) de Gamma Cassiopeiæ sont attribuées provisoirement à Sc II 4 320,7 (50) et 4 325,0 (50), bien que l'accord en longueur d'onde soit moins satisfaisant.

9. Nouvelles identifications : Ti III, C II, N II.

La présence en émission du spectre de Fe III rend vraisemblable celle d'autres éléments dont le potentiel d'ionisation n'excède pas 30,5 volts. Parmi ceux-ci, je peux caractériser Ti III, C II et N II.

Ti III. — (Potentiel d'ionisation = 27,6 volts). [H. N. Russell and Lang, *Astrophysical Journal*, 66 (1927), p. 33].

On ne connaît qu'un petit nombre des raies de cet ion, qui a été trouvé en absorption par Kühlborn dans le spectre de Gamma Pegasi :

4 200,2 (2),	4 205,0 (2),	4 207,5 (3),	4 215,6 (5),
--------------	--------------	--------------	--------------

Gamma Cassiopeiæ nous donne en émission :

4 200,8 (2,5),	4 205,0 (2),	4 207,4 (3),	4 214,5 (3).
----------------	--------------	--------------	--------------

La première raie peut être superposée à Fe III 4 200,1 (6), la dernière à Sr II 4 215,3. Mais aucune origine n'a été trouvée pour les deux raies intermédiaires. La présence de Ti III est donc bien caractérisée.

C II. -- (Potentiel d'ionisation = 24,26 volts). [Fowler, Selwyn, Mihul, *Kayser Handbuch der Spectroscopie*, VIII, Band I (1932), 8].

La forte raie 4 266,3 (3,3) de Gamma Cassiopeiæ peut être attribuée au doublet caractéristique de C II 4 267,0 (8), 4 267,3 (10).

La raie faible 3 919,2 (0,8) pourrait de même correspondre au doublet 3 919,2 (6), 3 920,7 (7), mais elle peut aussi être attribuée à N II 3 919,0 (6).

N II. — (Potentiel d'ionisation = 29,44 volts). [A. Fowler and L. J. Freeman, *Proc. Roy. Soc. London, A*, 114/124 (1926), 662].

Alors que le spectre de l'azote ionisé n'était visible jusqu'à ces dernières années qu'en absorption dans Gamma Cassiopeiæ, il apparaît maintenant en émission.

Le spectre de N II est très riche, beaucoup de raies ne peuvent être identifiées en raison des superpositions. Les suivantes paraissent exemptes de blends :

3 955,9 (5)	trouvé à	3 955,9 Å (1,7)
4 607,2 (7)		4 607,5 (1,2)
4 613,9 (6)		4 613,9 (1,2)
4 643,1 (8)		4 643,5 (2,6)
{ 5 001,1 (7)		4 999,9 (1,8)
{ 5 001,8 (8)		
5 005,1 (10)		5 005,0 (1,3).

La présence de C II et N II a été signalée indépendamment par Cherington [8] dans son étude récente sur la région des grandes longueurs d'onde.

10. Autres éléments probables.

S II. — (Potentiel d'ionisation = 10,31 volts). [Ingram, *Physical Review*, 32 (1928), p. 147 ; Gilles, *Thèse*, Paris (1930)].

Baldwin signale la présence d'une raie à 4 028,8 Å (0,3), qui pouvait être un blend de Ti II 4 028,4 (5) et S II 4 028,7 (7). Le voisinage de la forte raie 4 026 de l'hélium ne me permet pas d'observer cette raie. Par contre, je trouve de bonnes coïncidences avec la plupart des raies les plus intenses de S II :

S II	GAMMA CASSIOPEIÆ
—	—
4 153,0 (10)	4 152,1 (1,0)
4 162,6 (10)	4 161,5 (3,0)
4 463,6 (7)	4 463,6 (2,3)
{ 4 815,5 (9)	4 817,8 (0,9)
{ 4 819,6 (2)	
5 432,8 (9)	5 432,3 (1,2)
5 453,8 (10)	5 452,6 (1,1).

Cr II. — (Potentiel d'ionisation = 16,6 volts). [H. Kayser und H. Konen, *Handbuch der Spectroscopie* (1932), p. 573].

Cet élément, déjà identifié par Baldwin, est surtout caractérisé par les raies suivantes :

Cr II		GAMMA CASSIOPELÆ
—		—
4 558,7 (20)	trouvé à	4 558,4 Å (1,8)
4 588,3 (20)		4 589,2 (??)
4 618,6 (10)		4 617,1 (1,5)
4 824,1 (10)		4 822,8 (1,4).

La deuxième raie peut être blend avec une faible raie de Ti II 4 590,0 (3) et la dernière avec une raie de Y II 4 823,3 (30).

Ni II. — (Potentiel d'ionisation = 18,2 volts). [A. G. Shenstons, *Physical Review*, 2s, 30 (1927), 262].

Également signalé par Baldwin, Ni II n'est guère caractérisé que par la raie :

$$3\,849,5 \text{ trouvé à } 3\,849,2 \text{ Å (1,8).}$$

La raie 4 067,0 (3) est blend avec Fe III 4 066,1 (4).

Ca II. — (Potentiel d'ionisation = 11,82 volts). [H. N. Russell, *loc. cit.*].

Des deux raies H et K, la première est masquée par H_ε, la deuxième semble bien présente, mais est relativement faible.

11. Éléments possibles.

Sr II. — (Potentiel d'ionisation = 10,98 volts). [H. N. Russell, *loc. cit.*].

Les deux raies 4 077,7 et 4 215,5, correspondant à K et H, peuvent expliquer les deux fortes raies de Gamma Cassiopeiæ 4 077,4 (2,3) et 4 214,5 (2,7), mais la première est superposée à Si II 4 078,8 (2), la deuxième à Ti III 4 215,6 (5).

Ba II. — (Potentiel d'ionisation = 9,96 volts). [H. N. Russell, *loc. cit.*].

On trouve, près de l'emplacement prévu pour les deux raies de résonance 4 934,1 et 4 554,0, les deux raies 4 936,1 (2,0) et 4 556,4 (2,4), mais la seconde est certainement un blend où Fe II 4 555,9 (8) joue le rôle le plus important, à côté de Cr II 4 555,0 (10).

Y II. — (Potentiel d'ionisation = 12,30 volts). [W. F. Megger, *Bureau of Standards Journal of Research*, I (1928), p. 319 ; H. N. Russell, *loc. cit.*].

La recherche des raies de Y II est gênée par de nombreuses superpositions. Parmi les raies les plus intenses de cet atome, les suivantes correspondent bien à des raies de Gamma Cassiopeiæ :

Y II	GAMMA CASSIOPEIÆ
—	—
3 774,3 (150)	3 773,8 (1,8)
3 950,4 (200)	3 949,8 (1,9)
3 982,6 (150)	3 982,0 (1,4)
5 123,2 (50)	5 123,8 (1,1)
5 197,4 (50)	5 199,6 (1,7)
5 663,0 (200)	5 164,8 (2,7).

Toutefois, la forte raie 5 788,7 (200) n'a pas été trouvée dans mes clichés.

A II. — (Potentiel d'ionisation = 27,72 volts). [Kayser, *Handbuch der Spectroscopie* (1932), 1, p. 77].

Baldwin identifie une raie trouvée à 4 266,5 (0) à A II 4 266,5 (10). J'observe la même raie, fort intense, à 4 266,3 (3,3) ; on peut aussi l'attribuer à S II 4 266,9 (4) et S II 4 267,3 (4).

Parmi les autres fortes raies de A II, 4 806,1 (20) correspond à une raie de Gamma Cassiopeiæ 4 805,8 (2,6), mais on peut encore craindre la superposition de Ti II 4 805,1 (2) et Cr II 4 805,1 (—). Finalement, les seules coïncidences avec des raies assez intenses de A II qui semblent devoir être retenues sont :

A II	GAMMA CASSIOPEIÆ
—	—
4 108,9 (10)	4 107,4 (1,2)
4 379,7 (8)	4 378,0 (1,8)
4 426,0 (15)	4 425,8 (1,5).

(La présence de N III 4 379,1 (10) est peu vraisemblable).

Je ne considère pas la présence de A II comme nettement établie dans Gamma Cassiopeiæ, mais elle est possible. La raie 4 426 est la plus caractéristique.

12. Recherches des raies interdites de [Fe II] et [Fe III].

[Fe II]. — [I. S. Bowen, *Review of Modern Physics*, 8 (1936), p. 55]. La présence ou l'absence des raies interdites dans le spectre de Gamma Cassiopeiæ peut avoir une grosse importance du point de vue de l'interprétation des phénomènes d'émission. D'après les observations de Struve et Swings, en 1932, la présence de [Fe II] était douteuse. La recherche est particulièrement malaisée, en raison de très nombreuses superpositions, notamment avec les raies permises du même ion et avec celles du fer doublement ionisé. A chacune des fortes raies de [Fe II], on peut bien faire correspondre une raie de Gamma Cassiopeiæ, mais presque toutes les raies correspondent également à des raies permises. Toutefois les raies 4 276,4 (2,2) et 4 413,5 (2,6) de l'étoile seraient mieux expliquées par [Fe II] 4 276,8 (55,6) et [Fe II] 4 413,8 (60) que par les faibles raies Cr II 4 275,1 (1) et Fe II 4 413,6 (0).

Enfin la raie intense 4 359,7 (3,0), pour laquelle je n'ai aucune autre attribution, correspond à l'une des raies les plus fortes de [Fe II] 4 359,3 (80).

[Fe III]. — Edlén et Swings [13] ont calculé récemment les raies interdites de Fe III et ils ont montré qu'elles permettent d'expliquer les raies de l'étoile RY Scuti, observées par Merrill. Ces raies semblent aussi apparaître dans les Novæ [14]. Les deux plus fortes sont 4 658,4 et 4 701,8, dont les intensités dans RY Scuti sont respectivement 4 et 2. Je trouve dans Gamma Cassiopeiæ deux raies très faibles non identifiées, à 4 658,0 (0,8) et 4 702,3 (0,4). Ainsi, la présence des raies interdites de Fe II et de Fe III, dans le spectre de Gamma Cassiopeiæ, sans être définitivement établie, ne peut pas être exclue.

13. Conclusion.

En définitive, les ions suivants étaient nettement caractérisés dans le spectre d'émission de Gamma Cassiopeiæ en 1937-1938 :

H I,	He I,	Fe II,	Fe III,	Si II,	Mg II,
Al II,	Ti II,	Sc II,	Ti III,	C II,	N II.

De plus, la présence des ions :

S II,	Cr II,	Ni II et Ca II
-------	--------	----------------

était probable, tandis que je considère comme possible celle de

Sr II,	Ba II,	Y II,	A II,	[Fe II] et [Fe III].
--------	--------	-------	-------	----------------------

Le Tableau VII donne les potentiels d'ionisation de tous ces éléments.

TABLEAU VII

POTENTIEL D'IONISATION DES CORPS

DONT LA PRÉSENCE EST CERTAINE, PROBABLE OU POSSIBLE

ÉLÉMENTS ET SYMBOLES		SPECTRES			POTENTIEL TOTAL
		I	II	III	
Baryum	Ba	5,19	9,96		15,15
Strontium	Sr	5,76	10,98		16,74
Aluminium	Al	5,96	18,73		24,69
Calcium	Ca	6,09	11,82		17,91
Yttrium	Y	6,50	12,30		18,80
Scandium	Sc	6,70	12,80		19,50
Chrome	Cr	6,74	16,60		23,34
Titane	Ti	6,81	13,60	27,60	20,41
					48,01
Magnésium	Mg	7,61	14,96		22,57
Nickel	Ni	7,61	18,20		25,81
Fer	Fe	7,80	16,50	30,48	24,30
					54,78
Silicium	Si	8,11	16,26		24,37
Béryllium	Be	9,28	18,12		27,40
Carbone	C	11,20	24,24		35,44
Soufre	S	10,31	23,29		33,60
Hydrogène	H	13,53			13,53
Azote	N	14,46	29,44		43,90
Argon	A	15,68	27,72	40,41	43,40
Hélium	He	24,46	54,14		78,61

CHAPITRE III

ÉVOLUTION DU SPECTRE

14. Accroissement de l'excitation depuis 1932. — Si l'on compare les listes des éléments trouvés en émission en 1932, d'une part (§ 5), en 1937-1938, d'autre part (§ 13), on constate que leur nombre s'est beaucoup accru.

Des raies qui n'étaient visibles qu'en absorption en 1932, comme celles de N II et la plupart de celles de He I , sont devenues brillantes ⁽¹⁾. Si l'on admet que le mécanisme essentiel de l'émission est la recombinaison des ions et des électrons, la transformation d'une raie d'émission correspond à un accroissement de l'excitation dans l'atmosphère de l'étoile. D'ailleurs, la plupart des ions qui ont fait leur apparition depuis 1932 ont des potentiels d'ionisation supérieurs à ceux qui étaient présents à cette époque. Struve et Swings ont montré alors que le potentiel d'ionisation le plus élevé, parmi ceux des corps présents, atteignait seulement 18,2 volts (Ni II). Nous trouvons maintenant des éléments dont le potentiel d'ionisation dépasse 20 volts et atteint 30 volts, tels que :

C II (24,2 V),	He I (24,5 V),	Ti III (27,6 V),
N II (29,4 V),	Fe III (30,5 V).	

Le potentiel d'ionisation le plus élevé parmi les corps sûrement présents en 1937-1938 est celui de Fe III : 30,5 volts.

15. Affaiblissement des spectres d'émission. — Lorsque les observations, interrompues au mois d'août 1938, furent reprises en janvier-février 1939, le spectre avait subi des modifications profondes, visibles sur les agrandissements reproduits (figures 1, 3 et 4). Le nombre des raies brillantes avait considérablement diminué ; quelques raies précédemment en émission ne se trouvaient plus qu'en absorption. L'in-

⁽¹⁾ La présence simultanée des raies de l'hélium et de celles du fer ionisé est une des particularités qui différencie le spectre de Gamma Cassiopeiæ de celui de la plupart des étoiles B à raies brillantes. De même, la grande intensité de la raie Mg II 4 481 Å.

tensité des raies les plus fortes, comme les premières raies de la série de Balmer, avait nettement déchu. Cet affaiblissement général du spectre d'émission s'est poursuivi au cours de l'année 1939, au moins jusque vers le milieu d'août, date à laquelle les observations ont été à nouveau interrompues.

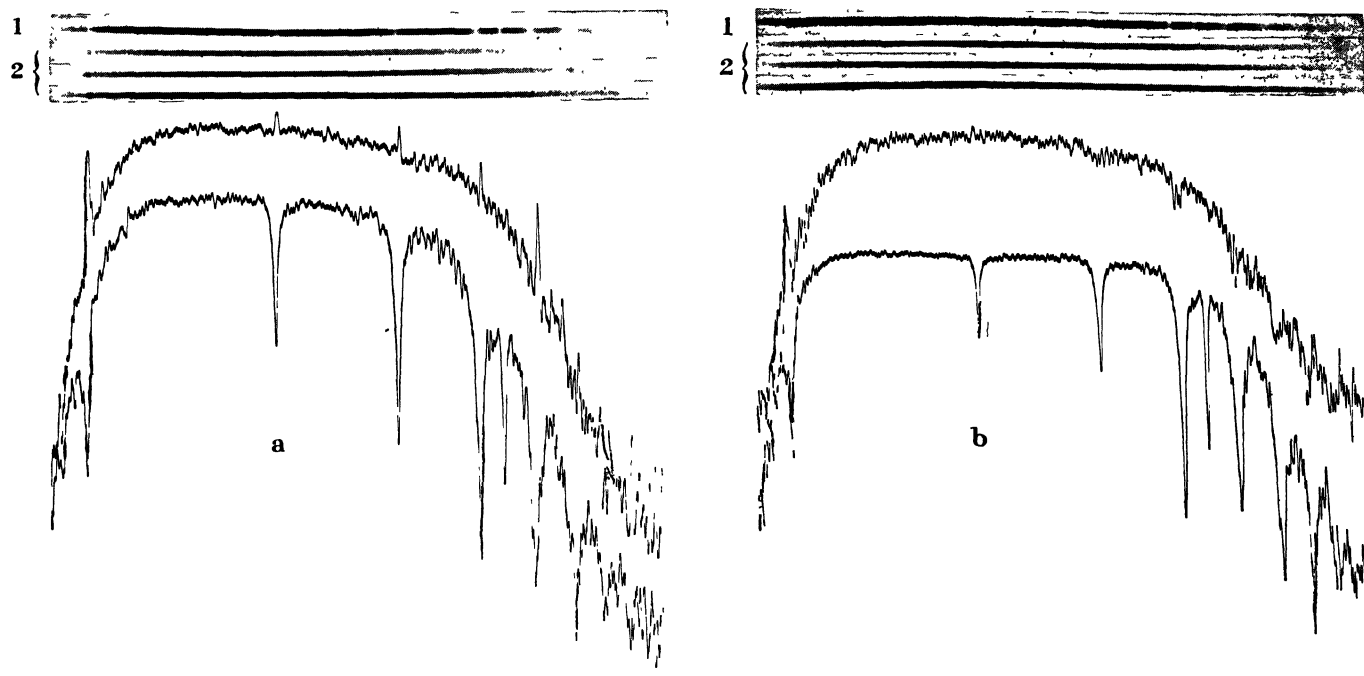


FIG. 3. — Affaiblissement du spectre d'émission de l'hydrogène (de 1938 à 1939).

a) Le 25 juillet 1938. 1 — δ Cassiopeiae ; 2 — γ Cassiopeiae. Spectrographe n° II, agrandissement 6,75.

b) Le 16 août. 1 — δ Cassiopeiae ; 2 — γ Cassiopeiae. Spectrographe n° II, agrandissement 6,75.

Noter l'affaiblissement du spectre d'émission, H_{ϵ} montre une faible émission dans une large raie d'absorption.

16. Évolution des raies de l'hydrogène (figures 1, 3 et 4). — Les spectres obtenus par Chalonge en 1934-1935 avec son spectrographe de quartz ne montraient nettement en émission que les quatre premières raies de Balmer. La présence des raies suivantes ne pouvait être décelée que sur les enregistrements microphotométriques. En 1936, les clichés de Chalonge montrent au contraire toutes les raies de Balmer en émission. Le spectre d'émission continu de l'hydrogène, au-dessous de la limite de la série, était également devenu beaucoup plus intense.

Sur les clichés obtenus à Lyon de 1936 à 1938, avec les différents prismes-objectifs de flint, les raies de Balmer sont bien visibles en

émission jusqu'à la limite imposée par la transparence des prismes. En général les spectres donnés par les spectrographes I et II s'étendent jusqu'à la raie H_{χ} . La dispersion n'est pas assez grande pour faire apparaître de manière nette la structure des raies, qui semblent généralement simples sur les clichés. Le dédoublement (aux époques où il existe) est à peu près à la limite du pouvoir de résolution des instruments. Cependant, sur les clichés obtenus les 8 avril et 21 juillet 1938, avec le spectrographe IV, les deux composantes brillantes de H_{δ} sont bien distinctes et séparées par une absorption centrale. A cette époque, d'après les observations de Baldwin [15], la séparation des composantes était justement très grande. Il est aussi à remarquer que sur deux clichés, ceux des 4 et 6 avril 1938, H_{ϵ} apparaît uniquement en absorption.

Au début de 1939, les quatre premières raies de la série de Balmer paraissent moins fortes en émission (surtout H_{δ}). H_{β} , H_{γ} et surtout H_{δ} se détachent maintenant au milieu d'une bande d'absorption large, faible et diffuse. La structure des raies suivantes semble plus compliquée.

H_{ϵ} n'apparaît plus que faiblement en émission, au milieu d'une bande d'absorption assez forte, qui semble plus intense tantôt du côté rouge, tantôt du côté violet. Sur le dernier cliché, obtenu le 16 août 1939, la bande d'absorption s'est encore creusée et l'on ne peut plus distinguer la raie d'émission centrale que sur l'enregistrement microphotométrique (figure 3).

A partir de H_{η} , on ne voit plus que des raies d'absorption. Sur les deux derniers clichés obtenus avec le spectrographe II sur la plaque Superfulgur les 12 juillet et 16 août 1939, on distingue les raies sombres de Balmer jusqu'à H_{λ} (3 734,4 Å).

17. Évolution de diverses raies brillantes. — Il est intéressant de donner quelques détails sur le comportement des raies les plus intenses et les plus caractéristiques ; comme leur origine n'est pas toujours absolument assurée, je range ci-dessous ces raies dans l'ordre des longueurs d'onde décroissantes.

5 876 (HeI). — C'était la seule raie de l'hélium neutre observée en émission par Struve et Swings en 1932. Elle était alors faible. Son intensité a beaucoup augmenté de 1936 à 1938, puis a diminué progressivement. En 1939, c'est encore la raie la plus intense entre H_{α} et H_{β} .

5 339 (Fen). — Visible sur tous les clichés au moins à partir d'avril 1938, forte le 6 juin, le 6 et le 21 juillet 1938, cette raie ne figure plus sur les clichés des 14, 15 et 16 août 1939.

5 317 (Fen). — Déjà observée en émission par Curtiss en 1916 et par Heard en 1935, la raie 5 317 est intense sur tous les clichés pris en 1938 avec le spectrographe IV sur plaques panchromatiques. Elle s'affaiblit beaucoup au début de 1939 et disparaît au mois de juillet.

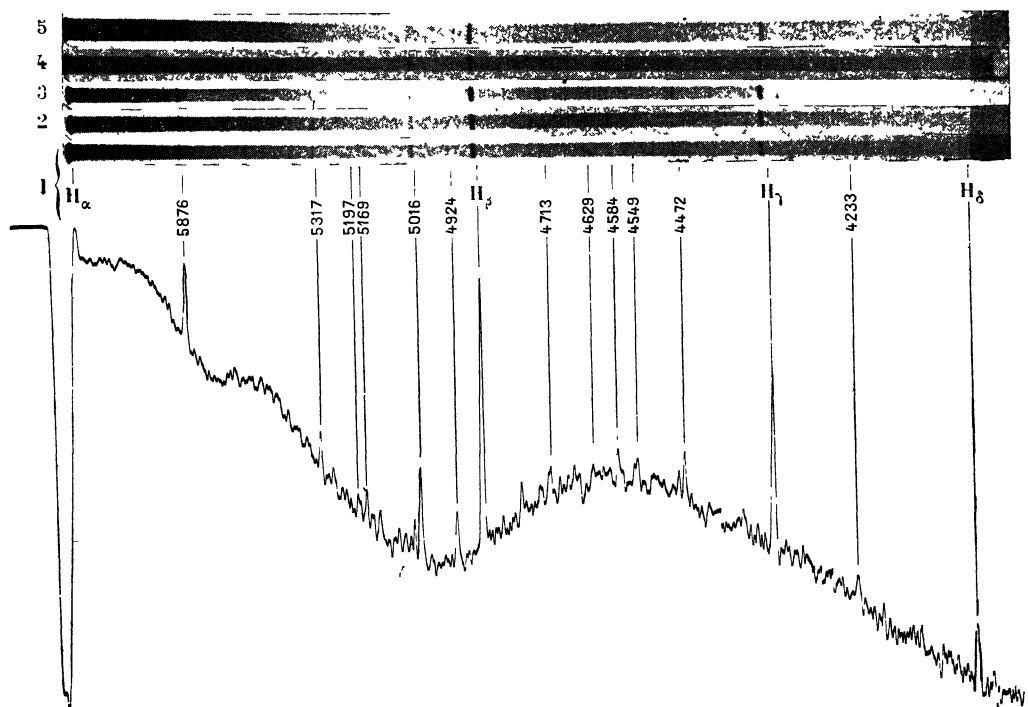


FIG. 4. — Spectres de Gamma Cassiopeiæ dans la région $H\alpha$ — $H\delta$.
Spectrographe IV, spectre agrandi 6,75 fois.

5 197 (Fen). — Cette forte raie semble avoir disparu à partir de février 1939.

5 169 (Fen). — Plus intense que la précédente ; sa disparition complète a eu lieu à la même époque.

5 016 (He I 5 015,7-Fen 5 018,4). — L'hélium semble dominer généralement dans ce blend, très intense en 1938, qui s'est affaibli d'une manière appréciable en 1939, tout en restant la seule radiation intense entre He I 5 876 et $H\beta$.

4 924 (Fen)-4 921 (He I). — Ces deux raies ne sont bien séparées

que sur certains clichés obtenus avec le prisme à vision directe (spectrographe IV). Le 15 août 1939, 4 921 a complètement disparu et 4 924 figure en absorption.

4 713 (He I). — En absorption en 1932, la raie est bien visible en émission en 1938 ; en 1939, on ne la retrouve que sur les enregistrements microphotométriques.

4 643 (N II). — Régulièrement présente et d'intensité moyenne de mars à juillet 1938 ; absente en 1939.

4 584 (Fe II). — Intense sur tous les clichés de 1938 ; de plus en plus faible et parfois absente en 1939.

4 481 (Mg II). — Forte raie sur tous les clichés de 1938. Absente les 14 et 15 août 1939.

4 472 (He I). — Plus intense que la précédente, la raie 4 472 était en 1938 une des raies les plus remarquables entre H_{β} et H_{γ} . Elle s'est affaiblie en 1939 et le 15 août apparaissait en absorption.

4 447 (N II). — Régulièrement présente et d'intensité moyenne en 1938. Absente les 14 et 16 août 1939 ; peut-être présente le 15 août.

4 382 (Fe II). — Intensité généralement moyenne en 1938 ; en absorption le 29 juin 1938 ; présente à nouveau en émission le 21 juillet ; semble encore présente, mais très faible, les 14 et 15 août ; absente le 16 août 1939.

4 372 (Fe II). — Généralement plus forte que la précédente en 1938. Visible le 14 août 1939, absente les 15 et 16 août.

4 307 (Ti II). — Faible en octobre 1937, le 8 avril 1938 ; forte en juin et juillet 1938. Parmi les trois clichés des 14, 15 et 16 août 1939, les deux derniers semblent montrer la raie très affaiblie.

4 300 (Ti II). — Évolution semblable à celle de la raie précédente, qui appartient au même multiplet. N'a pas été trouvée sur le cliché d'octobre 1937 ; très faible le 8 avril 1938, forte en juin et juillet de la même année. Douteuse le 14 août 1939, faible le 15 août, absente le 16.

4 290 (Ti II et Fe II). — Moyennement intense en octobre 1937, plus forte en juin et juillet 1938. Présence douteuse le 14 août 1939 ; absente le 16.

4 267 (C II). — Trouvée régulièrement avec une intensité moyenne sur tous les clichés de 1938, elle ne figure pas sur ceux des 15 et 16 août 1939. La raie mesurée le 14 août à 4 268 Å peut aussi être rapprochée de Si II 4 267,8 Å.

4 246 (Sc II). — Non observée en octobre 1937 ; faible en avril 1938, très forte en juin et juillet ; faible le 14 août 1939, invisible les 15 et 16 août.

4 233 (Fe II). — Une des plus fortes raies de Fe II, déjà observée en émission par Curtiss en 1916, par Struve et Swings en 1932, par Baldwin en 1937. Sur les clichés du mois d'août 1939, elle apparaît en absorption.

4 207 (Ti II). — Cette raie caractéristique de la présence de Ti II n'a pas été vue en octobre 1937. Moyennement intense en 1938 ; elle n'a pas été trouvée le 14 août 1939, mais seulement le 16 août, elle était alors faible.

4 189 (Fe II). — Faible le 15 octobre 1937 et le 8 avril 1938 ; plus forte en émission le 6 et le 18 juin, la raie semble se manifester en absorption le 29 juin, puis à nouveau en émission, mais très faible, le 6 juillet, plus forte le 21 juillet. Encore décelée en émission le 14 août 1939, mais non le 16 août.

4 184 (Fe II). — Peut-être en absorption le 15 octobre 1937. En émission sur tous les clichés de 1938, particulièrement forte le 8 avril et surtout le 18 juin, le 6 juillet et le 21 juillet ; plus faible le 29 juin 1938. Absente en août 1939.

4 174 (Fe II)-4 173 (Fe II). — Ces deux raies très voisines ne sont séparées qu'avec le spectrographe IV. Elles étaient très intenses du 6 juin au 21 août 1938. Le 14 et le 16 août 1939 elles sont nettement en absorption.

4 124 (Fe II ou Y II ?) et 4 123 (Fe II). — Intenses en 1938, disparues en août 1939.

4 104 (Fe II ?). — On n'a pu rapprocher de cette forte raie qu'une raie assez faible de Fe III (le voisinage de H_{δ} est d'ailleurs gênant). Elle était très intense du mois d'avril au mois de juillet 1938. Les clichés d'août 1939 n'en montrent plus trace.

4 078 (Si II ou S II). — Régulièrement présente en émission et assez forte en 1938. Cette raie se trouve en absorption sur les clichés des 14 et 16 août 1939.

4 026 (He I). --- Les variations de la raie 4 026 sont les plus capricieuses que j'aie observées. Tantôt elle apparaît en émission, tantôt en absorption, tantôt elle n'apparaît pas. Très intense en émission le 15 octobre 1937, le 19 avril, le 6 juillet et le 21 août 1938, elle figure en absorption le 4 avril et le 29 juin de la même année, tandis qu'elle

n'a pas été trouvée sur les clichés du 21 mars et du 27 juillet. Sur les clichés du 14 et du 16 août 1939, c'est une raie d'absorption beaucoup plus forte qu'en 1938.

4 016 (Sc II). — Pas très forte, mais régulièrement présente pendant toute l'année 1938, elle est encore assez intense en émission le 16 août 1939.

3 934 (Ca II). — La raie K n'est pas très forte dans le spectre de Gamma Cassiopeiæ, mais elle est toujours présente en 1939.

3 914 (Ti II et Fe II). — Cette raie a une structure compliquée. Elle se présente normalement à partir du 29 juin 1938 jusqu'au mois d'août de la même année. Le cliché du 16 août 1939 montre deux raies d'émission voisines 3 912,1 et 3 915,5.

3 878 (Y II ?). — Intense en 1938 et encore en 1939.

3 855 (Si II). — Très forte en octobre 1937, n'a pas été vue sur les clichés des 21 mars et 29 juin 1938. Présente sur tous les autres avec une intensité variable, particulièrement forte en juillet et août 1938. Elle a encore une intensité moyenne le 16 août 1939.

18. Conclusion. — L'étude qualitative des raies brillantes montre que beaucoup de celles-ci ont subi en 1938 des fluctuations irrégulières analogues à celles que Cherrington a observées en 1937. Abstraction faite de ces fluctuations, l'intensité des raies a, en moyenne, beaucoup diminué de juillet 1938 à août 1939. *Cette diminution d'intensité a affecté presque toutes les raies brillantes, quelle que soit leur origine.*

Il serait intéressant de pouvoir préciser si les raies de certains éléments ont ou non disparu. On constate, en août 1939, la disparition à peu près totale des raies de Fe III, N II et Ti III, c'est-à-dire des ions dont les potentiels d'ionisation sont les plus élevés. Ce fait tendrait à montrer que l'excitation a diminué d'une manière très notable. Elle reste cependant nettement supérieure à ce qu'elle était en 1932, puisqu'un certain nombre de raies de l'hélium restent visibles en émission (potentiel d'ionisation : 24,5 volts).

Il n'est pas possible de préciser davantage, car, d'une part, mes observations ne permettent pas d'affirmer la disparition rigoureusement complète des spectres de Fe III, N II et Ti III, et d'autre part, elles montrent aussi la disparition ou le renversement de certaines raies appartenant à des ions dont les potentiels d'ionisation sont nettement plus faibles, comme Fe II et Ti II.

DEUXIÈME PARTIE

MESURES DE L'INTENSITÉ DE QUELQUES RAIES BRILLANTES

CHAPITRE IV

TECHNIQUE DES MESURES SPECTROPHOTOMÉTRIQUES

19. Généralités. Mesures antérieures. — Les indications données dans le chapitre précédent ne donnent que quelques renseignements qualitatifs sur l'évolution des raies brillantes. Il serait beaucoup mieux de pouvoir suivre quantitativement leurs variations d'intensité. Mais la plupart des raies sont trop faibles pour se prêter à de véritables mesures photométriques ; j'ai cherché à mesurer seulement l'intensité des raies les plus fortes : raies de l'hydrogène et quelques raies de l'hélium et du fer ionisé.

Quelques mesures de ce genre ont été faites en 1938 par Kœlbloed et Walraven [16]. Les clichés, obtenus avec un spectrographe à fente, étaient étalonnés au laboratoire, au moyen d'une source à spectre continu (diffuseur de magnésie éclairé par une lampe à arc entre électrodes de tungstène) ; un échelon absorbant préalablement étalonné pour toutes les radiations de la région spectrale utilisée était alors placé sur la fente. Les clichés étaient étudiés au microphotomètre enregistreur ; les poses d'étalonnage fournissaient les courbes de noircissement relatives à chaque radiation ⁽¹⁾.

Les profils des raies relevés sur les enregistrements sont réduits en intensité au moyen des courbes de noircissement. On obtient donc, pour chaque raie, un graphique figurant l'intensité en fonction de la longueur d'onde. On mesure au planimètre la surface S comprise entre

⁽¹⁾ Les auteurs constatent d'ailleurs que, dans la plupart des cas, ces courbes ne se déforment pratiquement pas dans toute la région spectrale étudiée (3 800 à 5 900 Å) pour les films Agfa I. S. S. et ils combinent les courbes de noircissement individuelles en une courbe unique.

le profil de la raie et le spectre continu sous-jacent et l'on prend comme mesure de l'intensité la largeur du spectre continu exprimée en angströms qui donnerait la même surface S . Cette largeur est, en principe, indépendante de la dispersion du spectrographe utilisé.

Bien que la dispersion des prismes-objectifs que j'ai utilisés soit égale ou supérieure à celle du spectrographe à fente de Koelbløed et Walraven, il m'a semblé que mes clichés se prêteraient mal à l'emploi de la méthode précédente. Le tracé microphotométrique du profil des raies est facilité, dans les observations des deux astrophysiciens hollandais, par l'emploi d'une fente très large (0,3 mm) et leur spectrographe symétrique donne une image de même largeur sur la plaque. Il me paraît difficile d'accorder une grande confiance aux profils obtenus en enregistrant les images beaucoup plus étroites des raies fournies par mes prismes-objectifs.

Je me suis donc borné à mesurer la densité maximum D_R obtenue au sommet des raies brillantes et la densité D_C du fond continu, généralement facile à déterminer à la base de la raie.

Au moyen des courbes de gradation, il est facile de tirer de la mesure de ces densités le rapport des éclairissements $E_R + E_C$ et E_C produits respectivement par la raie brillante et le spectre continu seul. J'exprime en magnitude la mesure de ce rapport : la différence de magnitude Δm entre la raie brillante et le fond continu est fournie par la relation :

$$\Delta m = 2,5 \log \frac{E_R + E_C}{E_C}.$$

Les nombres ainsi obtenus présentent l'inconvénient d'être fonction de la dispersion. Ils changent évidemment lorsqu'on change de spectrographe ; ils pourraient même être légèrement modifiés si la mise au point venait à changer.

20. Étalonnage des clichés au laboratoire. — Les poses de gradation nécessaires à la construction des courbes de noircissement peuvent être faites soit au laboratoire, au moyen d'une source d'intensité constante, soit directement sur les étoiles.

La première méthode a l'avantage de dispenser de toute correction d'absorption atmosphérique. Je l'ai utilisée pour les clichés obtenus avec le spectrographe IV. L'ensemble du spectrographe, comprenant l'objectif-collimateur, le prisme à vision directe, l'objectif et la chambre

photographique, est habituellement derrière le plan focal de l'objectif Zeiss. Il suffit de desserrer un collier pour le retirer et le transporter au laboratoire. On place alors une fente dans le plan focal du collimateur (où se formait l'image de l'étoile fournie par l'objectif Zeiss).

La source et le dispositif utilisés pour l'étalonnage ont été décrits récemment par H. Grouiller [17]. Une lampe à filament de tungstène, fonctionnant à résistance constante, éclaire un diffuseur par transmission vers lequel est orienté le spectrographe. Entre la fente de celui-ci et le diffuseur, à une distance fixe du diffuseur, on intercale une série de grilles métalliques de laiton noirci, préalablement étalonnées. Les densités des grilles utilisées, pratiquement indépendantes de la longueur d'onde, sont :

0,20, 0,43, 0,62, 0,72, 0,88, 1,20.

Ces nombres résultent des mesures très concordantes faites, suivant des méthodes différentes, successivement par L. Herman et H. Grouiller.

On fait donc sur chaque plaque sept poses successives de même durée, l'une sans interposition de grille, les autres avec interposition successive des six grilles.

Pour avoir des spectres dont la densité moyenne soit comparable à celle des spectres de Gamma Cassiopeiæ, il suffit de poser 2 minutes. Le temps de pose n'est donc pas d'un ordre de grandeur bien différent de celui qui intervient sur l'étoile (10 à 12 minutes).

Le repérage de longueur d'onde est obtenu en superposant à chaque spectre continu d'étalonnage le spectre de raies d'une lampe au mercure. Celle-ci n'est allumée que pendant un temps très court, de façon que seules les principales raies brillantes impressionnent la plaque, à l'exclusion du spectre continu du mercure.

21. Emploi d'une cuve absorbante bleue. — Comme la source utilisée a une température de couleur beaucoup plus basse que Gamma Cassiopeiæ, les répartitions de densité dans les spectres d'étalonnage et dans les spectres stellaires sont très différentes. A densité égale dans la région verte, les spectres de gradation sont beaucoup plus denses dans le rouge que ceux de Gamma Cassiopeiæ et beaucoup plus clairs dans le bleu. Les mesures se font alors dans des conditions très défavorables.

On aurait pu éviter cette difficulté en se servant du dispositif construit par H. Grouiller [17] pour réaliser des sources de températures de couleur variées, comparables à celles des étoiles. Comme il s'agit seulement ici d'obtenir une répartition plus uniforme des densités dans le spectre, j'ai trouvé plus simple de modifier le rayonnement de la source au moyen d'un filtre bleu convenable. Je me suis servi d'un des absorbants liquides préconisés par Ch. Fabry [18] pour faciliter les mesures de photométrie hétérochrome. Il s'agit d'une solution d'eau céleste ayant la composition suivante :

Sulfate de cuivre cristallisé	1 g
Ammoniaque à 22°	100 cm ³
Eau, quantité suffisante pour	1 litre

Le liquide est contenu dans une cuve de 1,5 cm d'épaisseur placée devant la fente du spectrographe. On dilue progressivement la solution avec de l'eau ammoniacale (de façon que la concentration en ammoniaque reste voisine de 10 pour 100), jusqu'à ce que les spectres d'étalonnage soient comparables aux spectres stellaires (¹).

Avec la cuve absorbante, les temps de pose sont accrus et, avec une largeur convenable de la fente, on arrive facilement à poser le même temps que sur l'étoile, soit 10 à 12 minutes. L'étalonnage est alors assez long ; il est fait dans la journée qui suit la nuit où ont été photographiés les spectres stellaires. Pour éviter une évolution différente des images latentes, le cliché n'est développé que 24 heures au moins après la dernière pose.

22. Étalonnage sur l'étoile et correction d'absorption atmosphérique. -- Avec les prismes objectifs, j'ai étalonné les clichés directement sur l'étoile, comme avait fait déjà J. Ellsworth, pour les clichés antérieurs qui étaient à ma disposition.

La gradation est obtenue en plaçant contre la face d'entrée du prisme des diaphragmes rectangulaires de hauteurs variées (parallèlement à l'arête du prisme), mais tous de même largeur (perpendiculairement à l'arête), pour ne pas modifier le pouvoir de résolution. Je me suis servi généralement de quatre diaphragmes, pris parmi ceux dont les surfaces, exprimées en centimètres carrés, étaient

34,0, 29,7, 25,5, 21,3, 17,0, 12,8.

(¹) Le même procédé a déjà été employé à l'Observatoire de Lyon par H. Vallas, pour faciliter l'étude des propriétés d'une plaque panchromatique [19].

Au cours des poses successives, l'étoile s'élève ou s'abaisse sur l'horizon, de sorte que, même lorsque l'atmosphère est parfaitement stable, l'absorption qu'elle exerce sur les diverses radiations varie d'une pose à l'autre. Il est nécessaire de corriger les observations de ces variations.

A cet effet, je fais deux séries de poses successives chaque série comportant l'emploi des quatre diaphragmes, par ordre d'ouverture

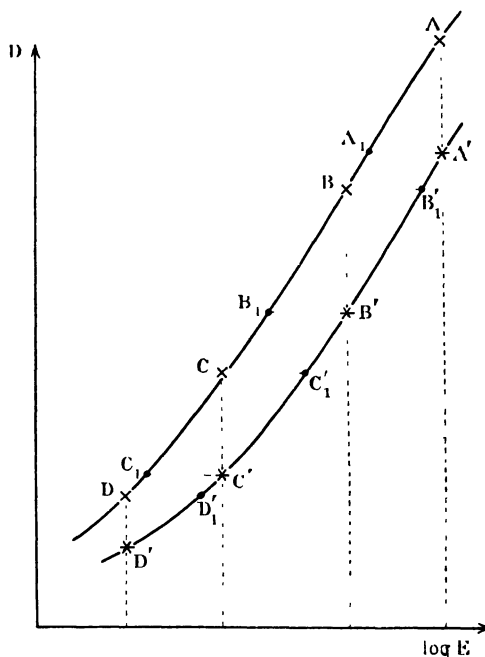


FIG. 5. — Correction d'absorption atmosphérique (figure schématique).

décroissante. Traçons les courbes de noircissement correspondant à ces deux séries, en portant en abscisses les logarithmes des surfaces des diaphragmes, c'est-à-dire, à une constante près, les logarithmes des éclairéments (figure 5), et en ordonnées les logarithmes des déviations du microphotomètre enregistreur à partir de la ligne d'obscurité, c'est-à-dire, à une constante près, les densités optiques ⁽¹⁾.

La courbe correspondant à la deuxième série de poses A' B' C' D' se place au-dessous de la première A B C D, si l'on suppose que l'étoile

⁽¹⁾ d étant les déviations à partir de la ligne d'obscurité, D les densités optiques, on a évidemment $D = A - \log d$. A étant une constante, qu'il est inutile de connaître dans le cas actuel [20].

descend sur l'horizon. Ces deux courbes sont incorrectes, car entre les points A et B, par exemple, la densité optique de l'atmosphère a augmenté, de sorte que l'abscisse du point B devrait être légèrement diminuée.

Soit A_1 le point où la parallèle à l'axe des abscisses menée par le point A' rencontre la courbe supérieure. La longueur $A'A_1$ mesure approximativement la diminution ΔE_1 du logarithme de l'éclairement entre les premières poses de chacune des deux séries (A et A'). En réalité, $A'A_1$ est un peu inférieure à ΔE_1 . Si l'on désigne par ΔM_1 l'augmentation de la masse d'air entre les points A et A' et par D_0 la densité optique de l'atmosphère au zénith pour la radiation considérée, on a :

$$AA_1 < D_0 \times \Delta M_1,$$

de sorte qu'on pourra prendre, comme limite inférieure de D_0 , $\frac{AA_1}{\Delta M_1}$.

Les points B' et C' fournissent deux autres limites inférieures de D_0 :

$$\frac{B'B_1}{\Delta M_2}, \quad \frac{C'C_1}{\Delta M_3},$$

ΔM_2 et ΔM_3 étant les augmentations de la masse d'air entre les points B et B' et entre les points C et C'.

Mais si l'on considère les segments BB'_1 , CC'_1 et DD'_1 , parallèles à l'axe des abscisses, menés par les points B, C et D, on voit aisément qu'ils mesurent, cette fois par excès, les variations du logarithme de l'éclairement entre les points B et B', C et C', D et D'. Ils fournissent donc trois limites supérieures de D_0 , qui sont :

$$\frac{BB'_1}{\Delta M_2}, \quad \frac{CC'_1}{\Delta M_2}, \quad \frac{DD'_1}{\Delta M_3}.$$

Finalement on pourra adopter pour D_0 la moyenne des six valeurs ainsi déterminées, trois par excès, trois par défaut.

D_0 étant ainsi connue, il serait facile de ramener toutes les observations à la même masse d'air, par exemple la masse d'air M_1 correspondant à la première pose de la première série. Il suffira de retrancher des abscisses de tous les autres points les quantités :

$$\Delta \log E = (M - M_1)D_0.$$

M étant la masse d'air correspondant à chaque pose. Les huit points correspondant aux deux séries de poses doivent finalement se placer au voisinage d'une même courbe d'étalonnage. Ces corrections doivent

naturellement être effectuées séparément pour chaque radiation.

La figure 6 montre à titre d'exemple la courbe d'étalonnage 3 obtenue le 21 mars 1938 pour la raie $H\beta$, à partir des deux courbes 1 et 2 relatives aux deux séries de poses de gradation successives affec-

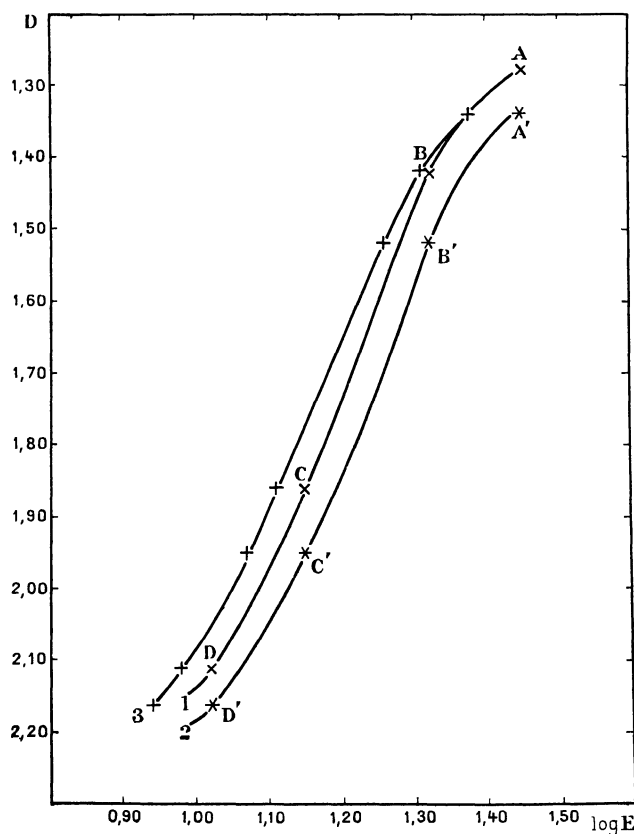


FIG. 6. — Courbe de noircissement (le 21 mars 1938, pour la raie $H\beta$).

1. Première série de poses.
2. Deuxième série de poses.
3. Courbe de noircissement corrigée de l'absorption atmosphérique.

tées par l'absorption. Les masses d'air étaient exceptionnellement grandes : 1,76 pour la première pose A de la première série, 2,02 pour la dernière pose D' de la deuxième série. La densité optique au zénith trouvée atteint 0,332 et correspond à un ciel brumeux.

Dans la plupart des cas, les corrections d'absorption atmosphérique étaient beaucoup plus petites, l'atmosphère était plus transparente et l'étoile plus près du zénith.

Pour déterminer rapidement les distances zénithales, j'ai construit une fois pour toutes une courbe donnant, en fonction de l'angle horaire H , la distance zénithale Z de Gamma Cassiopeiæ. Je me suis servi à cet effet de la formule :

$$\cos Z = \frac{\sin \varphi \sin (\psi + \delta)}{\cos \psi}$$

avec

$$\operatorname{tg} \psi = \cotg \varphi \cos H$$

où φ est la latitude du lieu d'observation ($45^{\circ}41'41''$) et δ la déclinaison de l'étoile ($60^{\circ}11'$). L'angle horaire est connu pour chaque pose, grâce à l'horloge sidérale placée près de l'équatorial. Les masses d'air sont tirées de la table de Link [21].

CHAPITRE V

RÉSULTATS DES MESURES

23. Résultats des mesures faites avec les différents spectrographes.

— Les résultats des mesures de l'intensité des raies brillantes faites sur 55 clichés du 14 août 1936 au 16 août 1939 sont contenus dans les Tableaux IX et X. Le premier se rapporte aux raies de Balmer H_β , H_γ , H_δ , H_ϵ et H_ζ , le deuxième aux raies He I 5 876, Fe II 5 316, 5 197 et 5 169 ; He I (et Fe II) 5 016 ; Fe II 4 924. Pour chaque mesure deux nombres sont donnés. Le premier, $\Delta m'$, exprime, en magnitude, le rapport des intensités $\frac{I_R + I_C}{I_C}$ mesuré avec le spectrographe utilisé. La signification du deuxième sera indiqué plus loin.

Une première série d'observations comprend 19 clichés obtenus du 14 août 1936 au 24 février 1938 avec le spectrographe III monté sur l'équatorial Eichens. Tous les clichés de 1936 et 1937 ont été faits par Mr. Ellsworth, les deux clichés de 1938 par moi.

A partir de mars 1938, j'ai employé simultanément deux instruments : le spectrographe I, moins dispersif, mais plus lumineux que le spectrographe III, monté sur l'équatorial Brunner, et, pour la région des grandes longueurs d'onde, le spectrographe IV, muni du prisme à vision directe. Mais le prisme du spectrographe I a été changé en juin 1938 et à partir du mois de juillet c'est le spectrographe ainsi transformé (II) que j'ai utilisé.

On a donc :

une deuxième série d'observations, ne comprenant que 4 clichés, obtenus du 21 mars au 19 avril 1938, avec le spectrographe I ;

une troisième série d'observations, comprenant 15 clichés, obtenus du 6 juillet 1938 au 16 août 1939, avec le spectrographe II ;

enfin une quatrième série, comprenant 11 clichés, utilisables vers les grandes longueurs d'onde, à partir de H_β , obtenus du 2 mars 1938 au 15 août 1939, avec le spectrographe IV.

En outre 4 clichés ont été repris du 10 juillet au 16 août 1939 avec le spectrographe III, dans le but de comparer les résultats obtenus avec des instruments différents.

La première série d'observations (14 août 1936-24 juin 1938) montre une augmentation d'intensité de toutes les raies de l'hydrogène par rapport au fond continu. Pour H_{β} , l'intensité est presque constante jusqu'à la fin de mai 1937, puis augmente brusquement à partir de juillet. Elle continue à croître légèrement jusqu'en novembre 1937, mais est un peu plus faible sur le dernier cliché de la série, le 24 février 1938. L'augmentation d'intensité de H_{γ} , H_{δ} , H_{ϵ} et H_{ζ} est plus régulière depuis le début des observations. Après un maximum atteint vers le mois d'octobre 1937, l'intensité diminue légèrement en février 1938.

La deuxième série, qui ne comprend que 4 clichés pris à des dates assez rapprochées (21 mars au 19 avril 1938), indique, pour toutes les raies de Balmer, une décroissance d'intensité assez nette du 21 mars au 4 avril, suivie (sauf pour H_{ζ}) d'une légère remontée du 4 au 19 avril.

La troisième série (6 juillet-26 août 1938, puis 14 février-16 août 1939) montre, pour toutes les raies de Balmer, une faible diminution d'intensité du 6 juillet au 26 août 1938. Après l'interruption, on retrouve H_{β} , H_{γ} et H_{δ} à peu près à la même intensité le 14 février 1939, puis les raies faiblissent graduellement jusqu'à la fin. H_{ζ} , trop faible, n'a pas pu être mesurée en 1939 ; H_{ϵ} a pu être mesurée pour la dernière fois le 16 février 1939 et H_{δ} le 15 mars.

Enfin, la quatrième série, relative aux radiations de grandes longueurs d'onde, qui correspond à peu près à la même période que la troisième série (2 mars-26 août 1938, puis 2 février-16 août 1939), montre en juillet et août 1939 des fluctuations d'intensité notables de H_{β} et des fluctuations plus faibles de $He I 5 876$. En juillet et août 1939, on retrouve, comme dans les clichés de la troisième série, H_{β} nettement plus faible que l'année précédente. Il n'en est pas de même de la raie $He I 5 876$. La raie $He I 5 016$ a, de manière générale, diminué d'intensité, de même que la raie $Fe II 4 924$. Les variations de $Fe II 5 169$, $5 197$ et $5 316$ sont peu importantes en 1938 ; en 1939 ces trois raies avaient faibli au point de n'être plus mesurables. Il est à remarquer que, sur le cliché du 18 juin 1938, la raie $He I 5 876$ présente une intensité exceptionnelle ; la raie $5 016$ est légèrement renforcée. Il n'en est pas de même des raies $5 169$, $5 197$ et $5 316$ de $Fe II$.

24. Comparaison des mesures faites avec les différents instruments.

— Il serait intéressant de pouvoir ramener à une même échelle

les mesures d'intensité faites avec les différents spectrographes.

Supposons d'abord que nous ayons affaire à des raies très fines, de sorte que la largeur de leurs images obtenues sur les plaques soit uniquement imposée par l'instrument. Avec tous les spectrographes employés ici, il est facile de voir que le pouvoir de résolution n'est pas limité par les prismes, mais seulement par la granulation de la plaque.

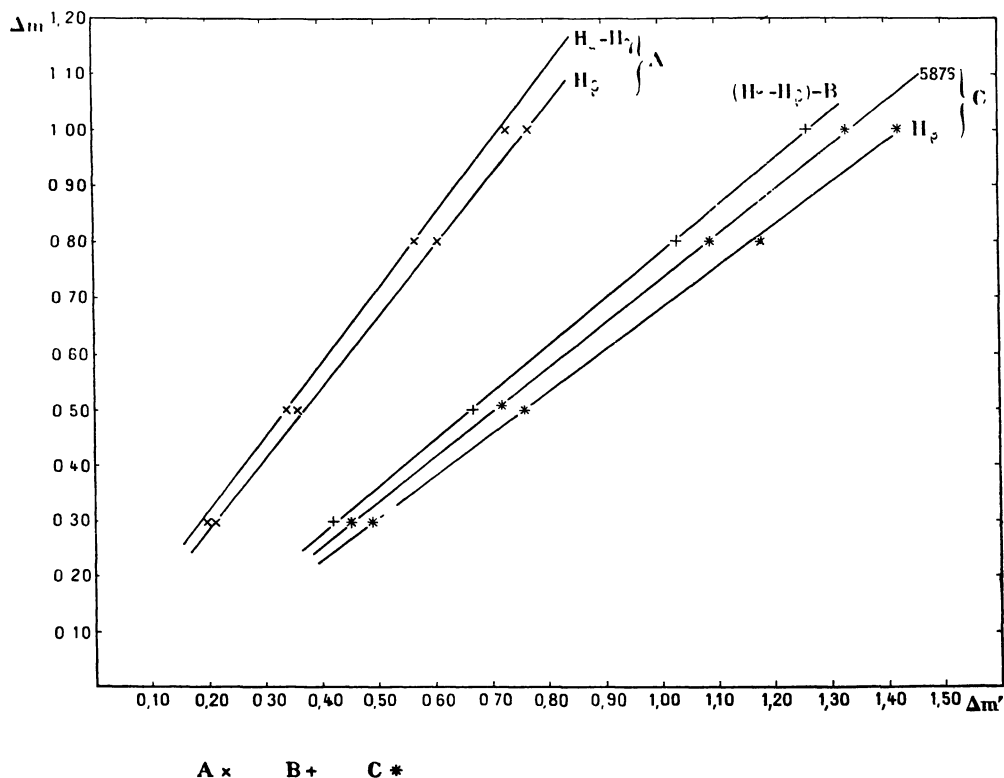


FIG. 7. — Graphique permettant de ramener à une même échelle les mesures faites avec les différents spectrographes.

Ainsi, des raies très fines donneraient, avec ces différents spectrographes, des images ayant toutes la même largeur. Je vais montrer que, dans ces conditions, on peut, en principe, passer des mesures faites avec un spectrographe, à celles faites avec un deuxième spectrographe, connaissant la dispersion des deux instruments.

Avec le premier spectrographe, la largeur Δl imposée à la raie par le grain de la plaque correspond à un intervalle spectral $\Delta \lambda$. On mesure donc le rapport entre l'éclairement produit par la raie et l'éclairement produit par la portion de spectre continu comprise dans l'intervalle $\Delta \lambda$.

Avec le deuxième spectrographe, la même largeur Δl correspond à un intervalle spectral différent $\Delta \lambda'$. Les intervalles $\Delta \lambda$ et $\Delta \lambda'$ étant petits, les éclaircissements produits par le spectre continu sont proportionnels à $\Delta \lambda$ et $\Delta \lambda'$, de sorte que l'on peut écrire :

$$E_R/E_C : E'_R/E'_C = \frac{\Delta \lambda'}{\Delta \lambda} = \frac{d'}{d}$$

en désignant par d' et d les dispersions des deux instruments, exprimées en angströms par millimètre.

Pratiquement, les mesures donnent, pour le spectrographe I par exemple :

$$\Delta m' = 2,5 \log (1 + E_R/E_C),$$

dont la dispersion linéaire est, au voisinage d'une raie donnée, d angströms par millimètre. A partir de $\Delta m'$, je calcule E_R/E_C par la formule précédente. J'obtiendrai ensuite la différence de magnitude Δm correspondant au spectrographe II par la relation :

$$\Delta m = 2,5 \log \left(1 + \frac{E_R}{E_C} \cdot \frac{d}{d'} \right).$$

Les nombres obtenus ainsi sont donnés dans le Tableau VIII et la figure 7 représente les variations de Δm en fonction de $\Delta m'$.

Les droites obtenues permettent en principe de ramener les mesures faites avec les spectrographes I, III et IV à la même échelle que les mesures faites avec le spectrographe II, pour des raies suffisamment fines.

En réalité, les raies d'émission de Gamma Cassiopeiæ sont certainement trop larges pour que les calculs précédents puissent être appliqués d'une manière rigoureuse. Cependant la largeur des raies n'excède pas beaucoup celles que leur impose la granulation des plaques.

Si nous admettons par exemple que la largeur minimum imposée aux images des raies par le grain de la plaque est 30 microns, nous trouvons, pour les raies H_δ , H_γ et H_β , les largeurs ci-dessous :

	H_δ	H_γ	H_β
	—	—	—
Spectrographe I	3,3 Å	4,1 Å	6,2 Å
Spectrographe II	2,1	2,7	4,2
Spectrographe III	1,5	1,9	3,0

TABLEAU VIII

[illegible]

Or les mesures interférentielles récentes de Dufay et Gauzit [22] donnent, en bon accord avec les mesures faites précédemment avec des spectrographes à grande dispersion :

H_{δ}	H_{γ}	H_{β}
—	—	—
3,8 Å	4,4 Å	5,0 Å

Il est donc probable que les calculs faits en supposant les raies fines donnent déjà un ordre de grandeur acceptable pour les corrections $\Delta m' - \Delta m$.

25. Mesures simultanées avec plusieurs spectrographes. — Des mesures simultanées faites avec les différents spectrographes permettraient évidemment de ramener d'une manière plus sûre toutes les observations à la même échelle. Mais, pour couvrir toute l'étendue des différences de magnitude Δm correspondant aux variations d'intensité des raies brillantes, un grand nombre de mesures simultanées auraient été nécessaires. Les mesures simultanées que j'ai faites ne sont pas assez nombreuses pour cela, mais permettent cependant de voir quelle est l'approximation réalisée au moyen des corrections faites dans l'hypothèse des raies fines.

J'ai fait des observations simultanées avec les spectrographes II, III et IV les 10 et 11 juillet 1939 ; avec les spectrographes II et III seulement le 12 juillet et le 16 août 1939 ; avec les spectrographes II et IV le 14 août 1939 ⁽¹⁾. A cette époque, le spectre d'émission ayant beaucoup faibli, les mesures n'ont pu porter que sur les raies H_{β} et H_{γ} avec les spectrographes II et III, sur la raie H_{β} seulement avec le spectrographe IV (voir Tableaux IX et X).

Les résultats des meilleures mesures sont résumés ci-dessous :

Pour H_{β} :

le 10 juillet 1939	$\Delta m_{II} = 0,61,$	$\Delta m_{III} - \Delta m_{II} = 0,23,$	$\Delta m_{IV} - \Delta m_{II} = 0,27$
le 11 juillet 1939	$= 0,56,$		$0,29$
le 16 août 1939	$= 0,48$	$0,25,$	

⁽¹⁾ Le spectrographe 1 n'a pas été comparé avec les autres, son prisme n'était plus à ma disposition.

Pour H_γ :

le 10 juillet 1939	$\Delta m_{\text{II}} = 0,35,$	$\Delta m_{\text{III}} - \Delta m_{\text{II}} = 0,20$
le 11 juillet 1939	0,30	0,15
le 16 août 1939	0,38	0,11.

L'intensité des raies brillantes ayant relativement peu varié durant cette période, je prends la moyenne des résultats précédents ; j'obtiens :

pour H_β	$\Delta m_{\text{II}} = 0,52$	$\Delta m_{\text{III}} - \Delta m_{\text{II}} = 0,24$
	$\Delta m_{\text{IV}} = 0,58$	$\Delta m_{\text{IV}} - \Delta m_{\text{II}} = 0,28$
pour H_γ	$\Delta m_{\text{II}} = 0,34$	$\Delta m_{\text{III}} - \Delta m_{\text{II}} = 0,15.$

Les droites théoriques construites dans l'hypothèse des raies fines donnent respectivement : 0,17, 0,29 et 0,13 magnitude. Les différences entre les valeurs observées et calculées sont + 0,07, — 0,01 et + 0,02 magnitude. Il est donc probable que les corrections faites dans l'hypothèse des raies fines sont exactes à quelques centièmes de magnitude près.

Toutes les valeurs de Δm ainsi ramenées à l'échelle du spectrographe II sont données dans les Tableaux IX et X, colonne Δm .

26. Courbes des variations d'intensité des raies de Balmer par rapport au fond continu. — Les courbes de la figure 8 ont été tracées en faisant, pour chaque mois, le résultat moyen des observations.

L'examen de ces courbes permet d'ajouter les remarques suivantes à celles qui ont déjà été faites lors de l'examen de différentes séries de mesures (§ 23) :

1° Pour toutes les raies de Balmer, on observe un premier maximum de Δm entre les mois de septembre et novembre 1937. Ce maximum est particulièrement net pour H_γ et H_δ , en novembre.

2° Un deuxième maximum s'observe également pour toutes les raies (sauf peut-être H_ϵ) en mars 1938. Mais, alors qu'il est presque insignifiant pour H_δ et H_ϵ , ce deuxième maximum semble dépasser de beaucoup le premier pour H_β et H_γ . Il convient toutefois de remarquer que l'existence de ce deuxième maximum repose uniquement sur les quelques clichés obtenus avec le spectrographe I. Or ce spectrographe n'a pu être comparé directement aux autres, de sorte que les corrections calculées $\Delta m' - \Delta m$ demeurent incertaines. Il n'est pas impossible que l'importance du deuxième maximum sur les courbes relatives à H_β et H_γ soit exagérée.

TABLEAU IX

NUMÉRO D'ORDRE	DATES D'OBSER- VATION	SPECTRO- GRAPHES EMPLOYÉS	H _β			H _γ		
			$\Delta m'$	Δm		$\Delta m'$	Δm	
1	1936 août 14	III	0,65	0,50	0,46	0,44	0,32	0,29
2	17	III	0,58	0,44		0,38	0,27	
3	20	III	0,60	0,45		0,40	0,29	
4	sept. 15	III	0,62	0,47	0,47	0,40	0,29	0,27
5	29	III	—	—		0,34	0,24	
6	oct. 20	III	0,60	0,45	0,45	0,32	0,22	0,35
7	nov. 4	III	0,56	0,42	0,42	0,35	0,25	
8	déc. 18	III	0,55	0,41	0,43	0,44	0,32	
9	18	III	0,58	0,44		0,51	0,38	
10	1937 janv. 22	III	0,58	0,44	0,44	0,48	0,35	
11	mai 30	III	0,55	0,41	0,41	0,51	0,38	0,60
12	juin 30	III	0,90	0,70	0,70	0,63	0,43	
13	sept. 2	III	0,93	0,73	0,76	0,85	0,62	
14	25	III	0,98	0,77		0,75	0,58	
15	29	III	1,00	0,79		0,76	0,59	
16	nov. 6	III	0,90	0,70	0,75	0,92	0,72	0,69
17	28	III	1,05	0,79		0,85	0,66	
18	1938 fév. 21	III	—	—	0,70	0,78	0,60	0,51
19	24	III	0,90	0,70		0,55	0,41	
20	mars 2	IV	1,02	0,69	0,90	—	—	0,87
21	6	IV	1,23	0,98		—	—	
22	8	IV	1,09	0,74		—	—	
23	21	I	0,94	1,22		0,75	1,03	
24	30	I	0,68	0,89	0,95	0,50	0,70	0,54
25	avril 4	I	0,56	0,74		0,30	0,43	
26	6	IV	1,55	1,10		—	—	
27	8	IV	1,23	0,85		—	—	
28	19	I	0,84	1,09	1,05	0,44	0,64	0,59
29	juin 18	IV	1,49	1,05		—	—	
30	juill. 6	II	0,74	0,74		0,61	0,61	
31	21	IV	1,51	1,06	0,78	—	—	0,46
32	25	II	0,55	0,55		0,56	0,56	
33	août 2	II	0,68	0,68	0,62	0,63	0,63	0,46
34	21	II	0,54	0,54		0,34	0,34	
35	26	II	0,68	0,68		0,41	0,41	

$$\Delta m = 2,5 \log \frac{E_R + E_C}{E_C}$$

NUMÉRO D'ORDRE	H _δ			H _ε			H _ζ	
	$\Delta m'$	Δm		$\Delta m'$	Δm		$\Delta m'$	Δm
—	—	—		—	—		—	—
1	0,38	0,27	0,20	—	—	0,24	—	—
2	0,20	0,12		0,35	0,25		—	—
3	0,29	0,20		0,33	0,23		—	—
4	0,34	0,24	0,19	0,36	0,26	0,25	—	—
5	0,21	0,13		0,34	0,24		—	—
6	0,35	0,25		0,28	0,19		—	—
7	0,30	0,20	0,21	0,30	0,20	0,19	0,30	0,20
8	0,31	0,21		0,26	0,17		0,26	0,17
9	0,30	0,20		0,30	0,20		—	—
10	0,37	0,26	0,48	0,34	0,24	0,37	0,35	0,25
11	0,40	0,29		0,43	0,31		0,45	0,33
12	0,43	0,31		0,38	0,27		—	—
13	0,63	0,48	0,45	—	—	0,39	—	—
14	0,75	0,58		0,50	0,37		0,46	0,34
15	0,51	0,38		—	—		—	—
16	—	—	0,47	—	—	0,25	—	—
17	0,85	0,66		0,53	0,39		—	—
18	0,64	0,49		—	—		—	—
19	0,55	0,41	0,35	—	—	0,32	—	—
20	—	—		—	—		—	—
21	—	—		—	—		—	—
22	—	—	0,35	—	—	0,26	—	—
23	0,47	0,66		0,34	0,49		0,36	0,25
24	0,31	0,45		0,19	0,29		0,28	0,18
25	0,20	0,30	0,35	0,18	0,27	0,25	—	—
26	—	—		—	—		—	—
27	—	—		—	—		—	—
28	0,27	0,40	0,45	0,14	0,23	0,26	0,21	0,13
29	—	—		—	—		—	—
30	0,55	0,55		0,36	0,36		0,48	0,48
31	—	—	0,35	—	—	0,32	—	—
32	0,34	0,34		0,16	0,16		0,25	0,25
33	0,40	0,40		0,36	0,36		—	—
34	0,30	0,30	0,28	—	—	0,25	—	—
35	0,35	0,35		0,28	0,28		0,25	0,25

NUMÉRO D'ORDRE	DATES D'OBSER- VATION	SPECTRO GRAPHES EMPLOYÉS	H β			H γ		
			$\Delta m'$	Δm		$\Delta m'$	Δm	
36	1939 fév. 14	II	0,84	0,84	0,72	0,57	0,57	0,45
37	15	II	0,89	0,89		0,55	0,55	
38	16	II	0,43	0,43		0,23	0,23	
39	mars 12	II	0,70	0,70	0,64	0,44	0,44	0,41
40	15	II	0,57	0,57		0,38	0,38	
41	juil. 10	II	0,61	0,61		0,35	0,35	
42		III	0,84	0,65	0,51	0,55	0,40	0,40
43		IV	0,88	0,58		—	—	
44	11	II	0,56	0,56		0,30	0,30	
45		III	0,84	0,65		0,45	0,33	
46		IV	0,85	0,56		—	—	
47	juil. 12	II	0,51	0,51	0,54	0,46	0,46	0,36
48		III				0,70	0,54	
49	août 14	II	0,55	0,55		0,35	0,35	
50		IV	0,78	0,51		—	—	
51	15	IV	0,90	0,60		—	—	
52	16	II	0,48	0,48		0,38	0,38	
53		III	0,73	0,56		0,49	0,36	

3° A la fin des observations (août 1939), les raies H β et H γ demeurent un peu plus intenses (par rapport au fond continu) qu'en août 1936. H δ est au contraire plus faible, puisqu'il n'a plus été possible de mesurer son intensité à partir du 15 mars 1939. H ϵ a faibli encore davantage et n'est plus qu'à peine visible en émission au milieu d'une large et profonde bande d'absorption (§ 16 et § 23). Ainsi, en août 1936 et en août 1939, le spectre de *Gamma Cassiopeiae* diffère surtout par l'intensité relative des raies de l'hydrogène (toujours par rapport au fond continu). Il n'y a pas eu affaiblissement de H β et H γ , comme paraissait le suggérer l'examen qualitatif des clichés (§ 16), mais affaiblissement des raies suivantes H δ , H ϵ , etc. L'intensité diminue maintenant beaucoup plus vite qu'en 1936 à mesure que l'on s'élève dans la série de Balmer, au moins à partir de H β . L'aspect du spectre en 1939 rappelle celui qu'observait Chalonge en 1934-1935, alors que seules les quatre premières raies de Balmer apparaissaient en émission.

27. Comparaison avec d'autres mesures d'intensité. — Les seules véritables mesures spectrophotométriques avec lesquelles il soit pos-

NUMÉRO D'ORDRE	H _δ		H _ε		H _ζ	
	$\Delta m'$	Δm	$\Delta m'$	Δm	$\Delta m'$	Δm
—	—	—	—	—	—	—
36	—	—	—	—	—	—
37	0,32	0,32	—	—	—	—
38	0,13	0,13	0,13	0,13	—	—
39	0,31	0,31	—	—	—	—
40	0,30	0,30	—	—	—	—
41	—	—	—	—	—	—
42	—	—	—	—	—	—
49	—	—	—	—	—	—
44	—	—	—	—	—	—
45	—	—	—	—	—	—
46	—	—	—	—	—	—
47	—	—	—	—	—	—
48	—	—	—	—	—	—
49	—	—	—	—	—	—
50	—	—	—	—	—	—
51	—	—	—	—	—	—
52	—	—	—	—	—	—
53	—	—	—	—	—	—

sible de comparer les résultats précédents sont, à ma connaissance, celles de Kœlblœd et Walraven [16], dont il a été déjà question (§ 19). Ces auteurs ont fait des mesures au cours de sept soirées, les 2 décembre 1937, 10 janvier, 1^{er} février, 19 mars, 8 juillet, 23 août et 23 septembre 1938. Ils trouvent, pour la plupart des raies, un maximum d'intensité en janvier 1938, un minimum en mars, un maximum en juillet ou août.

Je n'ai malheureusement pas de mesures en janvier 1938 : en mars j'observe un maximum pour H_β et H_γ (basé uniquement, il est vrai, sur les mesures du spectrographe I). Pour les autres raies, le maximum est insignifiant ; mais en tous cas, je n'ai pas de minimum. Sur ce point, mes mesures diffèrent donc complètement de celles de Kœlblœd et Walraven. Par contre, j'observe comme eux un faible maximum en juillet-août.

Mes mesures diffèrent encore de celles des physiciens hollandais sur un autre point. D'après mes mesures, l'intensité de H_β par rapport au fond continu est plus grande que celle de H_γ, mais reste du même ordre de grandeur. D'après les mesures de Kœlblœd et Walraven, les

TABLEAU X
 $\Delta m = 2,5 \log \frac{E_R + E_C}{E_C}.$

DATES D'OBSERVATION	SPECTROGRAPHES EMPLOYÉS	4 924	5 016	5 169	5 179	5 316	5 876
							$\Delta m'$ Δm
—	—	—	—	—	—	—	—
1937 sept. 29	III	—	—	—	—	—	0,36 0,25
1938 mars 2	IV	0,31	0,70	—	—	—	0,50 0,33
6	IV	0,24	0,36	—	—	—	0,35 0,21
8	IV	0,21	0,32	—	—	—	0,35 0,21
avril 4	IV	—	—	—	—	—	0,22 0,33
6	IV	0,19	0,30	0,21	0,13	0,19	0,55 0,37
8	IV	0,14	0,28	0,13	0,10	0,17	0,78 0,55
juin 16	IV	0,24	0,40	0,16	0,11	0,15	1,00 0,73
juil. 27	IV	0,20	0,39	—	—	0,18	—
août 2	II	—	—	—	—	—	0,27 0,27
21	II	—	—	—	—	—	0,23 0,23
26	II	—	—	—	—	—	0,51 0,51
1939 févr. 3	IV	0,14	0,18	—	—	—	0,63 0,44
14	II	—	—	—	—	—	0,42 0,42
15	II	—	—	—	—	—	0,45 0,45
16	II	—	—	—	—	—	0,26 0,26
mars 12	II	—	—	—	—	—	0,46 0,46
12	IV	—	—	—	—	—	0,43 0,28
15	—	—	—	—	—	—	0,34
juil. 10	II	—	—	—	—	—	0,30 0,30
10	IV	—	0,20	—	—	—	0,43 0,28
10	III	—	—	—	—	—	0,48 0,35
11	IV	—	—	—	—	—	0,38 0,24
11	II	—	—	—	—	—	—
1939 août 14	IV	0,20	0,39	—	—	—	0,33 0,20
15	IV	—	—	—	—	—	0,38 0,24

nombres qui expriment l'intensité relative de H_β et H_γ par rapport au fond continu sont au moins dans le rapport de 4 à 1. On peut se demander si le fait d'avoir pris fréquemment une courbe de noircissement unique pour l'ensemble du spectre n'a pas contribué à exagérer l'intensité de H_β .

Dans la région bleu-violet du spectre, le facteur de contraste gamma diminue généralement en même temps que la longueur d'onde. L'usage d'une courbe de noircissement moyenne tend donc à faire surestimer les rapports d'intensité vers les grandes longueurs d'onde et à les faire sous-estimer vers les petites longueurs d'onde ⁽¹⁾.

En dehors des mesures spectrophotométriques précédentes, on ne dispose que des estimations d'intensité faites par Baldwin qui concernent, non les raies de Balmer, mais les deux raies de He I 4 472 et 4 026 Å. Les deux courbes tracées par Baldwin montrent une augmentation notable d'intensité d'avril-mai à septembre 1938, qui se retrouve bien sur mes courbes relatives aux raies de Balmer. Le maximum observé par Baldwin en septembre-octobre 1937 correspond à peu près au premier maximum relatif sur mes courbes. En avril 1938, Baldwin observe un minimum profond que je retrouve pour H_γ , H_δ , H_ϵ et H_ζ . Mais il n'y a pas trace, sur les courbes de Baldwin, du maximum de mars 1938 que j'ai observé pour H_β et H_γ .

Il serait plus intéressant de comparer les courbes de Baldwin à mes mesures concernant les raies de l'hélium. Celles-ci sont malheureusement peu nombreuses. Le fait le plus saillant qu'elles indiquent est un maximum très prononcé pour la raie 5 876 Å, moins prononcé pour la raie 5 016 Å, en juin 1938. Il correspond à un maximum analogue sur les courbes de Baldwin, plus prononcé pour 4 472 que pour 4 026 Å.

28. Comparaison avec la courbe de lumière. — Les variations d'éclat de Gamma Cassiopeiæ ont fait, depuis 1936, l'objet de nombreuses estimations suivant la méthode de Pickering. La courbe de lumière la plus complète et la plus satisfaisante obtenue par cette méthode est celle de Rigollet et Oriano [23]. D'autre part, Huffer a publié une courbe de lumière basée sur des mesures photoélectriques précises [24]. L'accord entre ces deux courbes est en général très satisfaisant.

⁽¹⁾ Grouiller a trouvé notamment pour une plaque Agfa I. S.S. $\gamma = 2,00$ à 4 714 Å, $\gamma = 1,69$ à 4 377 Å. Ses mesures ne s'étendent pas plus loin du côté violet [17].

Comparons d'abord à la courbe de lumière de Huffer les courbes des intensités des raies H_β et H_γ par rapport au fond continu (figure 8).

L'augmentation rapide de l'intensité de ces deux raies, très brusque

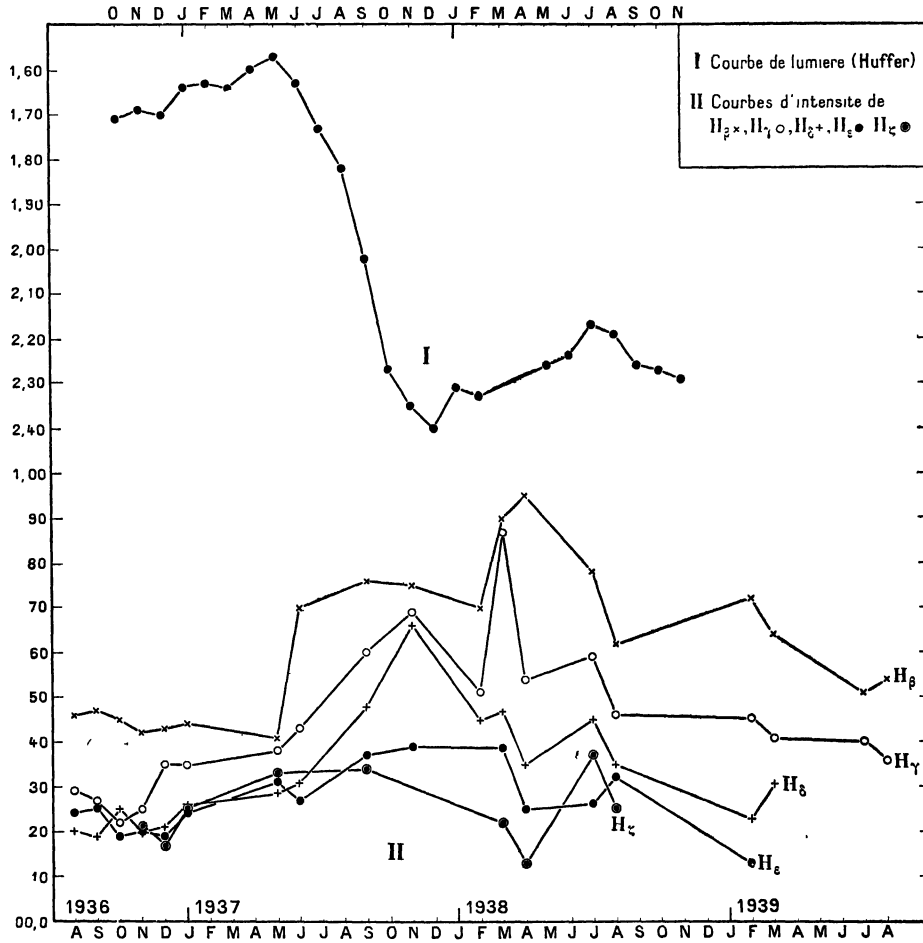


FIG. 8. — Variation d'intensité des raies brillantes par rapport au fond continu et comparaison avec la courbe de lumière.

I. — Courbe de lumière photo électrique de Huffer.

II. — Moyennes mensuelles de Δm .

pour H_β , commence très sensiblement en même temps que la diminution d'éclat qui a suivi le maximum absolu dans les derniers jours d'avril ou les premiers jours de mai 1937 (le 30 avril d'après Rigollet et Oriano).

Le premier maximum d'intensité des raies (fin de septembre 1937 pour H_β , début de novembre 1938 pour H_γ) correspond à peu près à

la fin de la décroissance rapide de l'éclat global de l'étoile, marqué par un minimum sur la courbe de lumière de Huffer (22 novembre), par un brusque changement de pente sur celle de Rigollet et Oriano (vers le 15 octobre).

Le maximum aigu que les courbes d'intensité de H_β et H_γ présentent vers le 21 mars 1938 coïncide parfaitement avec le minimum absolu de courbe de Rigollet et Oriano (22 mars). Il n'y a pas d'observation de Huffer entre le 19 avril et le 21 mai.

Les variations d'intensité des raies, comme les fluctuations d'éclat, sont ensuite plus atténuées : on remarque encore toutefois que la diminution d'intensité des raies observée entre la fin de juin et la fin de juillet 1938 correspond à une augmentation d'éclat global sur les deux courbes de lumière. Pour H_β et H_γ , on a un minimum le 25 juillet ; le maximum correspondant sur la courbe de lumière de Rigollet et Oriano se place vers le 20 juillet.

Ainsi d'une manière générale, *les variations de l'intensité des raies H_β et H_γ par rapport au fond continu sont inverses de celles de l'éclat global de l'étoile*. L'accroissement de l'intensité des raies se produit pendant les périodes où l'éclat global décroît et les maxima d'intensité des raies se rencontrent au voisinage des minima d'éclat, les minima d'intensité des raies au voisinage des maxima d'éclat.

La comparaison des courbes de lumière avec les courbes d'intensité de H_δ et H_ϵ conduit à des conclusions analogues (on a déjà remarqué que le maximum du 21 mars était beaucoup plus atténué pour ces deux raies). Les mesures concernant H_ϵ sont trop lacunaires pour pouvoir être prises en considération.

29. Comparaison avec les variations de la température de couleur.

— Vandekerkhove [25] a montré qu'en 1937 la grande diminution d'éclat de l'étoile avait été accompagnée par un accroissement de sa température de couleur. Les mesures de Greenwich confirment ce résultat, mais Hunter et Martin [26] font remarquer que la variation inverse de l'éclat et de la température ne s'est pas maintenue en 1938 : de février à juillet de cette année, la température a continué à augmenter, tandis que l'éclat avait cessé de décroître et commençait à croître légèrement.

Les mesures de la température de couleur sont trop sporadiques pour pouvoir être comparées en détail aux mesures de l'intensité des

raies. Tout ce que l'on peut dire, d'après l'ensemble des mesures de température de Hunter et Martin, de Williams [27] et de Vandekerkhove, c'est que l'augmentation de l'intensité des raies (par rapport au fond continu) entre les mois d'avril et de novembre 1937 a bien correspondu à une augmentation de la température de couleur de l'étoile (et à une diminution d'éclat). Mais, tandis que la température a continué à s'élever en 1938 (notamment de février à juillet d'après les mesures de Greenwich), l'intensité des raies (par rapport au fond continu) a commencé à diminuer. Il serait très intéressant d'avoir des mesures de température plus récentes, pour voir si l'affaiblissement des raies, de 1938 à 1939, a correspondu encore à une élévation de température. En l'absence de toute mesure de gradient, je puis signaler qualitativement que sur mes clichés de 1939, l'intensité relative du spectre ultraviolet est plus grande que sur mes clichés de 1938 : à densité égale dans le bleu, les spectres de 1939 s'étendent plus loin vers les courtes longueurs d'onde que ceux de 1938. Ainsi il est probable que la température de couleur a continué à croître.

Il n'y aurait pas de correspondance simple entre l'intensité des raies brillantes et la température de couleur : un accroissement continu de la température pouvant être accompagné d'abord d'un accroissement, puis d'une diminution de l'intensité des raies brillantes. Cette remarque est fort importante, car elle tendrait à montrer que *l'excitation dans l'atmosphère de Gamma Cassiopeiae n'est pas uniquement d'origine thermique*.

30. Discussion. — Il faut toutefois tenir compte du fait que l'intensité des raies a été mesurée uniquement par rapport au fond continu, de sorte que les variations observées peuvent provenir soit de variations propres dans l'émission des raies, soit des variations du fond continu.

Comme la plus grande partie de la lumière de l'étoile provient certainement du spectre continu, la courbe de lumière peut être considérée comme représentant très sensiblement les variations du spectre continu lui-même. On a constaté que l'intensité des raies brillantes (par rapport au fond continu) variait grossièrement en sens inverse de l'éclat de l'étoile ; il est donc naturel de se demander si les variations du continu (E_c) ne suffirait pas à rendre compte des variations de la

quantité $1 + \frac{E_R}{E_C}$, sans qu'il soit nécessaire de faire intervenir des variations propres des raies (E_R).

Entre les mois d'avril et de novembre 1938, l'éclat de l'étoile a diminué de 0,8 magnitude environ. La quantité $1 + \frac{E_R}{E_C}$ a augmenté au contraire de 0,35 magnitude (pour les raies H_β , H_γ et H_δ). Il est donc tout d'abord certain que l'intensité des raies n'a pas diminué dans le même rapport que celle du fond continu, ce qui est déjà un phénomène remarquable. Mais il n'est pas impossible que l'augmentation de la quantité $1 + \frac{E_R}{E_C}$ résulte, au moins en partie, de la diminution de E_C .

Dans le même ordre d'idées, on peut signaler que l'affaiblissement considérable des raies ultraviolettes comme H_ϵ , de 1938 à 1939, a paru accompagné par un renforcement du spectre continu ultraviolet.

Mais il est hors de doute que les variations du spectre continu ne peuvent suffire à expliquer les variations de l'intensité relative des raies brillantes. Ainsi le maximum d'intensité des raies H_β et H_γ en mars 1938 est tout à fait hors de proportion avec la diminution concomitante de l'intensité du spectre continu. De même la disparition d'un grand nombre de raies en 1939 ne peut pas s'expliquer par un renforcement du spectre continu ; elle correspond réellement à une diminution de l'émission dans l'atmosphère de l'étoile.

On retiendra pourtant de cette discussion que les mesures relatives de l'intensité des raies brillantes par rapport au fond continu ne peuvent pas nous donner une image fidèle des variations de l'émission propre des raies brillantes, quand le spectre continu de l'étoile lui-même est sujet, comme celui de Gamma Cassiopeiæ, à d'importants changements. A l'avenir, il serait utile de chercher à mesurer séparément l'intensité du fond continu et celle des raies brillantes superposées. On pourrait y arriver en comparant séparément les éclairissements E_C et $E_R + E_C$ à l'éclairement E'_C produit, pour la même radiation, par le spectre continu d'une autre étoile. Il y aurait donc lieu de photographier sur chaque plaque, avec le même temps de pose que l'étoile étudiée, une étoile de comparaison brillante, d'éclat invariable, en prenant toutes les précautions rendues nécessaires par l'absorption atmosphérique.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Dans la première partie de ce travail, j'ai étudié qualitativement le spectre d'émission de Gamma Cassiopeiæ, à l'aide de 14 clichés obtenus, avec des dispersions différentes, d'octobre 1937 à juillet 1938, époque où les raies brillantes étaient intenses et nombreuses.

J'ai dressé une liste des longueurs d'onde de raies d'émission mesurées, entre 3 750 et 5 878 Å, liste plus complète que toutes celles qui avaient été publiées auparavant. Plus des deux tiers de ces raies ont été identifiées. Beaucoup appartiennent à des éléments dont la présence était déjà connue dans le spectre de Gamma Cassiopeiæ : H I, He I, Fe II, Si II, Mg II, Al II, Ti II, Sc II.

Swings et Edlén avaient signalé la présence probable de quelques raies de Fe III. Grâce aux listes des raies de cet élément, dressées par Swings, Edlén et Grandjean, que Mr. Swings a bien voulu me communiquer, j'ai établi la présence d'un très grand nombre de raies de Fe III. J'ai reconnu aussi pour la première fois la présence des raies de Ti III, Cr II et Ni II. Ces deux derniers éléments ont été retrouvés indépendamment par Ernest Cherrington Jr.

La présence de S II et Ca II, déjà signalée par Baldwin, semble confirmée, de même que celle de Ni II et Cr II, signalée par Struve et Swings. On ne peut considérer que comme possibles les identifications avec Sr II, Ba II, Y II et A II.

Sans être définitivement établie, la présence de [Fe II], déjà discutée par Struve et Swings, et celle de [Fe III] ne peuvent pas être définitivement exclues.

J'ai étudié aussi l'évolution des principales raies brillantes d'août 1936 à août 1939. L'excitation a nettement augmenté depuis 1932. Alors que le potentiel d'ionisation le plus élevé des corps présents en 1932 ne dépasse pas 18,2 volts (Ni II), nous trouvons en 1937-1938 des éléments dont le potentiel d'ionisation est compris entre 20 et 30,5 volts : Cr II (24,2 volts), He I (24,5 volts), Ti III (27,6 volts), Ni II (29,4 volts) et Fe III (30,5 volts). Ce dernier potentiel d'ionisation est le plus élevé parmi les corps sûrement présents. En 1939, on a assisté à un affaiblissement progressif et considérable du nombre et de l'intensité des raies brillantes.

Dans la deuxième partie de ce travail, j'ai fait connaître les résultats des mesures spectrophotométriques effectuées sur les raies brillantes de l'hydrogène, de quelques raies de l'hélium neutre, et du fer ionisé. Les mesures portent sur l'intensité relative des raies et du fond continu sous-jacent. J'ai mesuré 55 clichés obtenus du 14 août 1936 au 16 août 1939. Malgré l'incertitude qui provient de l'emploi de plusieurs spectrographes à prisme-objectif différents, les graphiques figurant les variations d'intensité des raies par rapport au fond continu montrent que, de manière générale, ces variations sont en sens inverse de celles de l'éclat global de l'étoile. L'accroissement de l'intensité des raies se produit pendant les périodes où l'éclat global décroît et les maxima d'intensité des raies se rencontrent au voisinage des minima d'éclat. On a déjà trouvé du reste que la température de couleur variait souvent — mais non toujours — en sens inverse de l'éclat global de l'étoile.

Les mesures relatives de l'intensité des raies brillantes par rapport au fond continu ne peuvent pas nous donner une image fidèle des variations propres des raies brillantes, quand le spectre continu lui-même est sujet, comme celui de Gamma Cassiopeiæ, à d'importants changements. Toutefois il est hors de doute que les variations du spectre continu ne peuvent suffire à expliquer les variations de l'intensité relative des raies brillantes. Aussi le maximum des raies H_{β} et H_{γ} est tout à fait hors de proportion avec la diminution concomitante de l'intensité du spectre continu. Dans une large mesure, les variations des raies d'émission doivent être réelles.

L'explication générale des variations spectrales de Gamma Cassiopeiæ et la recherche du mécanisme de l'émission des raies dépasse le cadre de ce travail. Pour arriver à une interprétation satisfaisante, il faudra tenir compte, non seulement des variations d'intensité des raies et du spectre continu, mais aussi des changements dans la structure des raies, dont l'étude n'a pas été abordée ici, mais qui a déjà fait l'objet de recherches étendues de la part de plusieurs auteurs, notamment J. S. Lockyer et plus récemment Baldwin.

En 1932, Struve et Swings ont tenté d'interpréter l'élargissement des raies brillantes en admettant que l'étoile était entourée d'une atmosphère étendue — ou d'un anneau équatorial — en rotation. C'est dans cette atmosphère extérieure à la couche renversante que devait se produire l'émission des raies. Cette

théorie est malheureusement impuissante à expliquer les variations spectrales.

En 1933, Mc Laughlin [28] complète l'hypothèse précédente en supposant que l'atmosphère en rotation des étoiles B à raies brillantes est en outre soumise à des pulsations. De cette manière, il parvient à interpréter les changements cycliques dans les contours des raies. La composante rouge des raies d'émission devient plus intense que la composante violette pendant la phase d'expansion ; au contraire la composante violette devient plus intense que la composante rouge pendant que l'atmosphère de l'étoile s'effondre. Les phases d'expansion et d'effondrement successives seraient dues à des élévations et à des diminutions de la température, qui modifient la pression de radiation sélective.

Cette théorie, qui semble bien s'appliquer au cas de l'étoile 25 Orionis, convient moins bien à celui de Gamma Cassiopeiæ. Baldwin trouve, en effet, que le comportement des vitesses radiales des deux composantes rouge et violette ne suit pas les prévisions théoriques.

Nous avons déjà remarqué que l'augmentation de l'intensité des raies brillantes, à la fin de 1937, était accompagnée d'un accroissement de la température de couleur, ce qui est bien conforme aux idées de Mc Laughlin. Si l'excitation des raies se produit par recombinaison d'ions et d'électrons, l'intensité de l'émission doit croître en même temps que celle des radiations de très courtes longueurs d'onde capables d'ioniser les atomes de l'enveloppe extérieure.

Une grave difficulté provient de ce qu'à la même époque l'éclat global diminuait rapidement, alors que la température de couleur paraissait croître. Baldwin a tenté de lever cette contradiction en imaginant un mécanisme d'après lequel la température de couleur mesurée varierait en sens inverse de la température vraie de l'étoile. Il suppose que, lorsque la température de l'étoile s'élève, l'accroissement du rayonnement tend à former une photosphère plus épaisse qui fait paraître l'étoile plus froide. Lorsque l'« étoile intérieure » elle-même se refroidit, la « fausse photosphère » devient plus transparente et laisse voir l'étoile intérieure, plus froide qu'auparavant, mais un peu plus chaude que la fausse photosphère. L'éclairement de la fausse photosphère se serait produit pendant la rapide diminution d'éclat de l'étoile, à la fin de 1937.

La fausse photosphère de Baldwin absorberait évidemment le

rayonnement de très courtes longueurs d'onde qui ionise l'enveloppe extérieure. La température de cette enveloppe varierait dans le même sens que la température de couleur et l'on s'explique bien que l'excitation des raies brillantes ait augmenté en même temps que la température de couleur, pendant que l'éclat de l'étoile diminuait.

Mais une autre difficulté subsiste. Pendant la rapide décroissance d'éclat de l'étoile, à la fin de 1937, alors qu'augmentaient à la fois la température de couleur et l'intensité des raies brillantes, la composante violette de chaque raie d'émission était plus intense que la composante rouge, et le rapport V/R de l'intensité des deux composantes croissait graduellement. Donc, dans la théorie de Mc Laughlin, l'atmosphère extérieure de l'étoile s'effondrait. Mais Mc Laughlin admet que le gonflement de l'atmosphère est dû à l'accroissement de la pression de radiation sélective sur les atomes absorbants et son effondrement à la diminution de cette pression. Si l'écran formé par la fausse photosphère de Baldwin suffit à diminuer l'ionisation de l'enveloppe extérieure (et aussi la température de couleur), il doit aussi diminuer la pression de radiation sélective. L'éclaircissement de la fausse photosphère, accompagné d'un accroissement d'intensité des raies brillantes, devrait être accompagné d'un gonflement et non d'un effondrement de l'atmosphère.

Si donc l'on conserve l'hypothèse de Baldwin, il semble nécessaire d'imaginer un autre mécanisme pour rendre compte des pulsations de l'atmosphère de l'étoile.

Ces quelques remarques suffisent à montrer que le problème posé par les variations spectrales de Gamma Cassiopeiae n'est pas encore résolu.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Curtiss, *Publications of the Observatory University of Michigan*, **2**, p. 1 (1916).
 - [2] Mc Laughlin, *Publications of the Observatory of Michigan*, **4**, p. 177 (1932).
 - [3] William J. S. Lockyer, *Monthly Notices*, **93**, p. 362 (1933) ; **93**, p. 619 (1933) ; **95**, p. 520 (1935).
 - [4] D. Chalonge, *Comptes Rendus*, **203**, p. 362 (1936). — D. Chalonge et Horia Safir, *Comptes Rendus*, **203**, p. 1329 (1936).
 - [5] Struve et Swings, *Astrophysical Journal*, **77**, p. 66 (1933).
 - [6] J. F. Heard, *Astrophysical Journal*, **81**, p. 341 (1935).
 - [7] Ralph B. Baldwin, *Astrophysical Journal*, **87**, p. 573 (1938).
 - [8] Ernest Cherrington Jr., *Contribution from the Perkins Observatory*, n° 11, p. 11 (1939).
 - [9] Swings et Edlén, *Astrophysical Journal*, **88**, p. 618 (1938).
 - [10] H. Kühlbörn, *Veröffentlichungen der Universitätssternwarte zu Berlin-Babelsberg*, Band XII, Heft 1, p. 1 (1938).
 - [11] Swings, Edlén and Grandjean, *Astrophysical Journal*, **90**, p. 378 (1939).
 - [12] Tcheng Mao Lin et J. Dufay, *Comptes Rendus*, **209**, p. 342 (1939).
 - [13] Edlén et Swings, *The Observatory*, **62**, n° 784, p. 234 (1939).
 - [14] J. Dufay et M. Bloch, *Revue Scientifique*, nos 9 10, p. 575 (1939).
 - [15] Ralph B. Baldwin, *Astrophysical Journal*, **89**, p. 255 (1939).
 - [16] D. Koelbloed and Walraven. *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, **8**, n° 314, p. 299 (1938).
 - [17] H. Grouiller, *Thèse*, Lyon (1939).
 - [18] Ch. Fabry, *Œuvres choisies*, p. 411 (1938).
 - [19] H. Vallas, *Diplôme d'études supérieures*, Lyon (1938).
 - [20] Tien Kiu, *Thèse*, Lyon (1938).
 - [21] M. F. Link, *Journal des Observateurs*, **17**, n° 3, p. 41 (1934).
 - [22] J. Dufay et J. Gauzit, *Comptes Rendus*, **208**, p. 1481 (1939).
 - [23] Rigollet et Oriano, *Bulletin de la Société Astronomique de France*, **52**, p. 419 (1938).
 - [24] C. M. Huffer, *Astrophysical Journal*, **89**, p. 139 (1939).
 - [25] Vandekerkhove, *The Observatory*, **62**, n° 778, p. 76 (1939).
 - [26] A. Hunter and E. Martin. *The Observatory*, **62**, n° 784, p. 236 (1939).
 - [27] Williams, *University of Michigan*, unpublished.
 - [28] Dean B. Mc Laughlin, *Proceedings of The National Academy of Sciences of the United States of America*, **19**, n° 1, p. 44 (1933).
-

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
INTRODUCTION	1

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE QUALITATIVE DU SPECTRE

CHAPITRE PREMIER. — TECHNIQUE DES OBSERVATIONS.

1. Instruments	3
2. Clichés utilisés	5
3. Mesure des longueurs d'onde.	6

CHAPITRE II. — RÉSULTATS DES MESURES. IDENTIFICATION DES RAIES.

4. Résultats des mesures.	9
5. Résultats des mesures antérieures.	9
6. Identifications des raies de H I, He I, Fe II.	21
7. Les raies de Fe III.	26
8. Raies de Si II, Mg II, Al II, Ti II et Sc II.	29
9. Nouvelles identifications : Ti III, C II, N II.	30
10. Autres éléments probables.	31
11. Éléments possibles	32
12. Recherches des raies interdites de [Fe II] et [Fe III].	34
13. Conclusion	34

CHAPITRE III. — ÉVOLUTION DU SPECTRE.

14. Accroissement de l'excitation depuis 1932.	36
15. Affaiblissement des spectres d'émission	36
16. Évolution des raies de l'hydrogène	37
17. Évolution de diverses raies brillantes.	38
18. Conclusion	42

DEUXIÈME PARTIE

MESURES DE L'INTENSITÉ
DE QUELQUES RAIES BRILLANTES

CHAPITRE IV. — TECHNIQUE DES MESURES SPECTROPHOTOMÉTRIQUES.

	Pages
19. Généralités. Mesures antérieures	43
20. Étalonnage des clichés au laboratoire.	44
21. Emploi d'une cuve absorbante bleue.	45
22. Étalonnage sur l'étoile et correction d'absorption atmosphérique	46

CHAPITRE V. — RÉSULTATS DES MESURES.

23. Résultats des mesures faites avec les différents spectrographes.	51
24. Comparaison des mesures faites avec les différents instruments	52
25. Mesures simultanées avec plusieurs spectrographes. . . .	56
26. Courbes des variations d'intensité des raies de Balmer par rapport au fond continu	57
27. Comparaison avec d'autres mesures d'intensité.	60
28. Comparaison avec la courbe de lumière.	63
29. Comparaison avec les variations de la température de couleur.	65
30. Discussion	66

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS	68
---------------------------------	----
