

ÉTUDE DU SPECTRE D'ABSORPTION
DE 243 ÉTOILES DE TYPES SPECTRAUX
COMPRIS ENTRE O6 ET F8
POUR LA RECHERCHE DE CRITÈRES QUANTITATIFS
DE CLASSIFICATION SPECTRALE BIDIMENSIONNELLE

par Margherita HACK (*)
(Institut d'Astrophysique de Paris)

SOMMAIRE. — On étudie la relation entre la discontinuité de BALMER et l'intensité centrale apparente de H_{δ} sur les spectrogrammes à faible dispersion (225 Å/mm à H_{γ}) de 243 étoiles de types spectraux compris entre O6 et F8. On trouve que ces deux grandeurs permettent d'établir une classification spectrale bidimensionnelle (spectre et luminosité) en bon accord avec celle de MORGAN, établie d'après des critères qualitatifs, et avec celle de CHALONGE et DIVAN établie sur la mesure de deux paramètres : λ_1 et D.

On étudie aussi le comportement des raies d'absorption les plus intenses autres que celles de BALMER : c'est-à-dire celles de HeI pour les étoiles des premiers types, la bande G et la raie K pour les autres. On trouve qu'une classification spectrale bidimensionnelle satisfaisante est obtenue pour les étoiles B8-F8 en utilisant comme paramètres les intensités centrales apparentes de H_{δ} et K. On obtient une classification moins satisfaisante avec la raie 4026 de HeI et H_{δ} : elle donne toutefois des résultats utiles pour les étoiles B2,5-B9.

On trouve enfin que l'intensité centrale des raies H8 et H9 de BALMER fournissent des critères de luminosité pour les étoiles O9-O9,5 en accord avec une note récemment publiée par A. UNDERHILL.

INTRODUCTION

Un problème très important en astrophysique consiste à trouver des critères quantitatifs permettant une classification spectrale bidimensionnelle. Il est désirable que ces critères soient tels qu'on puisse facilement les appliquer même à des spectrogrammes de faible dispersion, permettant d'atteindre les étoiles faibles.

MORGAN dans son *Atlas of stellar spectra* [1], donne une série de critères qualitatifs qui permettent une classification bidimensionnelle très précise ; mais dans la pratique leur emploi est difficile car ils exigent de tenir compte de l'apparence de raies spectrales faibles, et nécessite en tous cas, un œil très exercé.

Développant une idée qui a déjà été exposée [2, 3, 4] CHALONGE et L. DIVAN se basant sur l'étude de la discontinuité de BALMER D et d'une longueur d'onde λ_1 ,

(*) Astronome à l'Observatoire d'Arcetri-Florence.

liée de façon empirique à la longueur d'onde λ_0 de la discontinuité, ont introduit un système de classification bidimensionnelle qui donne des résultats en très bon accord avec ceux de MORGAN : ils réduisent ainsi la détermination du type spectral et de la classe de luminosité à deux mesures quantitatives [5].

STRÖMGREN est parvenu aussi à une classification spectrale analogue, en utilisant comme paramètres l'intensité totale de H_β et la grandeur de la discontinuité de BALMER mesurées à l'aide d'un photomètre photoélectrique et de filtres interférentiels [6].

L'un des buts du présent travail est de rechercher, en utilisant des spectrogrammes à faible dispersion, la relation entre la discontinuité de BALMER et l'intensité centrale apparente d'une raie convenable de la série de BALMER, pour voir s'il est possible d'utiliser ces deux paramètres pour la classification spectrale : on éliminerait ainsi la mesure de λ_1 difficile et incertaine pour les étoiles de type plus avancé que F0 et ainsi que pour les étoiles O6-B0. On utiliserait ainsi les deux paramètres choisis par STRÖMGREN, mais en réduisant les moyens d'observation à un simple spectrographe de faible dispersion. La possibilité d'obtenir ainsi une méthode de classification analogue à celle ($\lambda_1 D$) avait été déjà mise en évidence par CHALONGE et DIVAN [5] en conséquence du fait précédemment montré par BARBIER, CHALONGE et MORGULEFF [8] que H_γ est une fonction bien définie de D et λ_1 .

D'autre part, étant donné que l'intensité d'une raie est essentiellement fonction de la pression et de la température d'une atmosphère stellaire (en admettant, en première approximation, que toutes les étoiles aient la même composition chimique) ainsi que du potentiel d'excitation de la raie considérée, il est théoriquement possible de construire une classification bidimensionnelle en utilisant les raies de deux éléments différents qui constituent des paramètres capables de caractériser la température et la pression.

Aussi, un second but de ce travail a-t-il été de mesurer les intensités centrales apparentes des principales raies spectrales des divers éléments, en vue de chercher un autre paramètre qui, accouplé à l'intensité centrale d'une raie de BALMER convenable, puisse se substituer à la discontinuité, comme critère de classification spectrale. Ceci serait particulièrement désirable pour les étoiles de type avancé ainsi que pour les spectres pris avec un prisme objectif pour lesquels la mesure de D est assez difficile par suite du voile produit par le ciel nocturne qui tend à atténuer la discontinuité.

MATÉRIEL D'OBSERVATION

Le matériel d'observation qui a été aimablement mis à ma disposition par M. le P^r CHALONGE, que je désire remercier ici, consistait en microphotogrammes

des spectres de 157 étoiles de types spectraux compris entre O6 et F8, avec une prédominance d'étoiles des premiers types, et dont on avait étudié seulement le spectre continu [5].

Tous les spectrogrammes (qui embrassent un domaine spectral compris environ entre 4 500 et 3 100 Å), ont été pris avec un spectrographe ayant une dispersion de 225 Å/mm à H_γ , la fente ayant toujours la même largeur (100 μ) ⁽¹⁾. Tous les microphotogrammes ont été obtenus avec une fente de largeur constante (0.025 mm sur la plaque). Le grandissement du microphotomètre était égal à 12 ; on a donc sur le microphotogramme une échelle de 19 Å/mm à H_γ . Les détails regardant le dispositif instrumental, la construction des courbes de gradations des plaques, et le tracé du continu sont donnés dans [5].

Par suite de la petite dispersion les intensités centrales mesurées ici sont notablement plus petites que les véritables intensités centrales. Tous les résultats rapportés ici ont donc seulement un caractère relatif : sauf spécification contraire, les mots « intensités centrales » seront employées dans ce travail dans le sens « intensités centrales apparentes ».

On a mesuré les intensités centrales I_r/I_c (où I_r est l'intensité mesurée à la longueur d'onde λ_0 du maximum d'absorption de la raie, et I_c l'intensité mesurée, aussi à λ_0 sur le spectre continu, interpolé à travers les raies) de H_γ , H_δ , H_7 (pour les étoiles O6-B8), H_8 , H_9 (pour les étoiles O6-O9,5), des raies 4 471, 4 388, 4 144, 4 026, 4 009 et 3 819 de l'hélium, de la raie 4 200 pour les étoiles O-B1, de la raie K et de la bande G et de quelque autre « blend » de raies métalliques pour les étoiles de type avancé (4 172 et 4 177 Fe II, 4 132 Fe I et 4 128 Fe II, 4 077 Fe I et 4 078 Sr II, 4 031 Mn I).

Les erreurs sur les valeurs moyennes des intensités centrales sont comprises entre 0,5 % et 1 % lorsqu'elles résultent de trois spectrogrammes au moins. Pour les étoiles pour lesquelles on disposait seulement de deux spectrogrammes les erreurs varient entre 1 et 3 %. Mais pour la raie 3 819 qui se ressent du voisinage de H_9 avec laquelle elle est souvent presque blend, on a des erreurs comprises entre 2 et 4 %.

RÉSULTATS DÉDUITS DES RAIES DE BALMER

Dans la figure 1 sont données les intensités centrales de H_γ , H_δ , H_8 en fonction du type spectral, le paramètre étant la classe de luminosité (les valeurs qui ici et après sont adoptées pour le type spectral et la classe de luminosité sont celles déterminées dans [5] à l'aide des paramètres λ_1 , D).

Les valeurs des intensités centrales de H_γ , H_δ , H_8 pour chaque étoile sont données dans le tableau 2. Les trois courbes pour H_γ , H_δ et H_8 ont une allure

(1) La distance focale de l'objectif de chambre était trois fois plus petite que celle du collimateur.

analogue. On retrouve le fait bien connu que les raies de l'hydrogène dépendent notablement de la luminosité entre les types B0 et F0 tandis que pour les étoiles des types plus avancés cette dépendance devient négligeable ; seules les étoiles

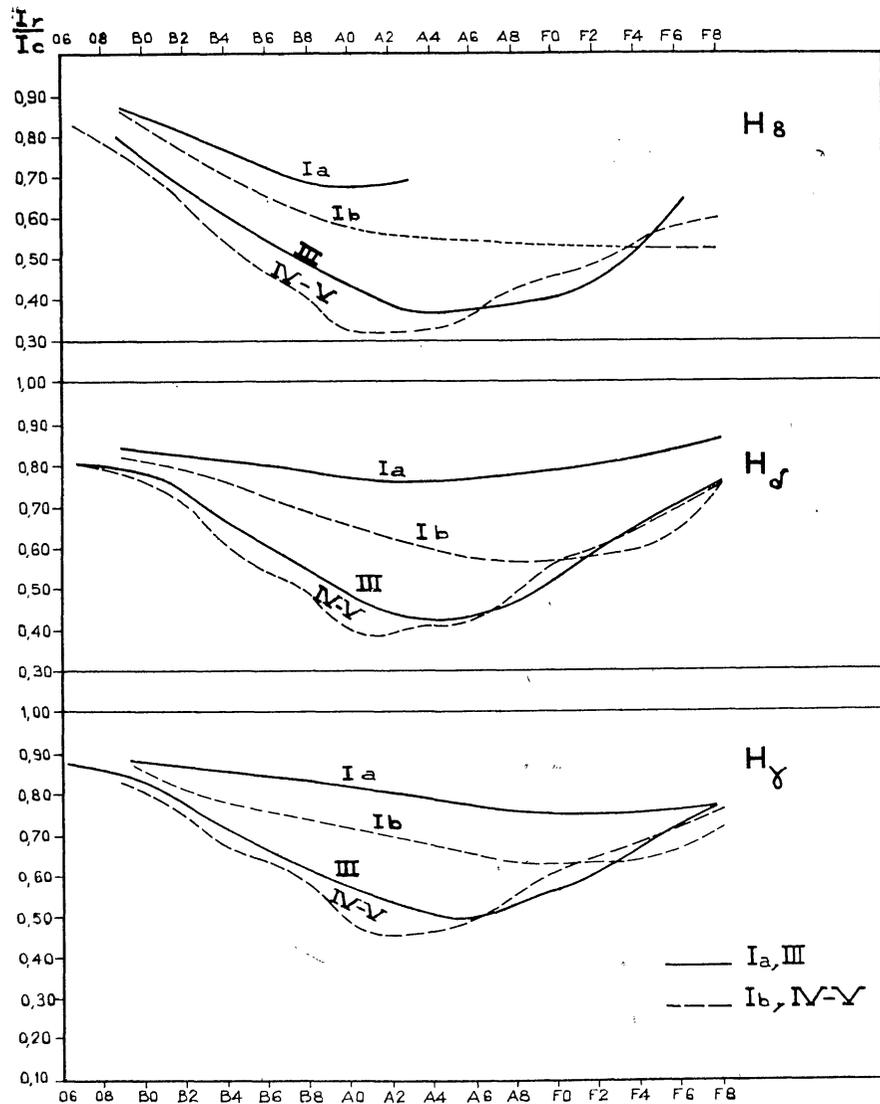


FIG. 1.

de la classe I_a ont encore à F8 des raies notablement moins intenses que les étoiles des mêmes types des autres classes de luminosité. Vers le type F0 les raies de l'hydrogène, pour les étoiles de classe I_b , tendent à devenir plus intenses que celles des étoiles du même type de classe III, et IV-V. Déjà vers les types A2, A3 les courbes de paramètre III et IV-V tendent à se fondre en une seule. Pour les types moins avancés que B0 les points correspondant aux étoiles de luminosité différente sont complètement mêlés, pour H_γ et surtout pour H_β . La courbe pour H_β , au contraire, indique déjà pour O9 une séparation nette entre les points représentant les étoiles des différentes classes de luminosité. Ce fait apparaît plus nettement

si l'on reporte les intensités centrales de H_γ , H_δ , H_ϵ en fonction de la luminosité pour le type O9 et O9,5 (fig. 1 bis). Dans une note récente A. UNDERHILL [7] a indiqué que les raies de plus grand nombre quantique constituaient un critère de luminosité pour les étoiles O9 : Ce fait est confirmé ici pour l'intensité centrale de H_δ , sur onze étoiles de types O9 et O9,5. A la suite de la note [7] on a mesuré aussi l'intensité centrale apparente de H_ϵ , pour les étoiles O6-O9,5. Les résultats obtenus (tableau 2, fig. 1 bis) confirment ceux donnés par H_δ . Il n'est pas possible de pousser les mesures au delà de H_ϵ , par suite de l'incertitude dans le tracé du fond continu et de la présence de nombreuses raies blend avec les raies de BALMER.

Le maximum d'intensité centrale de H_γ , H_δ , H_ϵ se produit pour le type A1 dans la classe IV-V, pour A5 dans la classe III, tandis que pour les classes I_a et I_b il semble tomber seulement vers le type F0 : il n'est pas possible

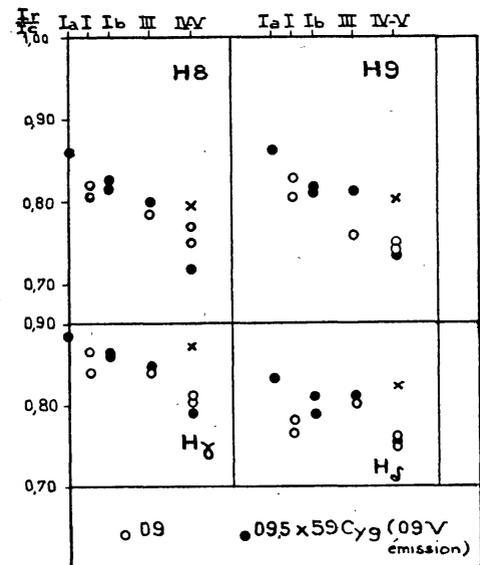


FIG. 1 bis.

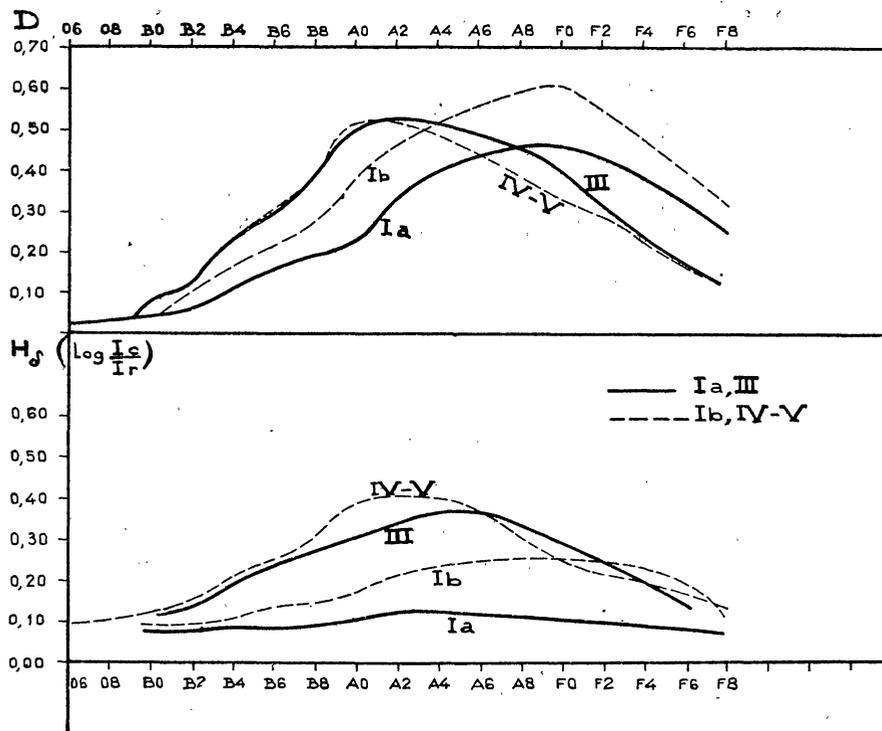


FIG. 2.

de déterminer ce maximum avec précision, par suite du petit nombre de points représentatifs de ces deux dernières classes.

L'amplitude des trois courbes croît de H_γ à H_δ .

La figure 2 donne l'allure de la variation de la discontinuité de BALMER en fonction du type spectral pour les différentes classes de luminosité (les valeurs de D sont données par [5]) et on reporte les courbes correspondantes pour H_δ ou, en ordonnées, par analogie avec la définition de D

$$\left(\log \frac{I_{\lambda_0 + \varepsilon}}{I_{\lambda_0 - \varepsilon}} \right) \text{ on a porté } \log \frac{I_c}{I_r} \text{ au lieu de } \frac{I_r}{I_c}.$$

L'allure des deux familles de courbes est semblable. Comme dans le cas de H_δ et H_γ , les points représentant la variation de D pour les différentes classes de luminosité sont bien séparés dès le type 09 (fig. 2 bis).

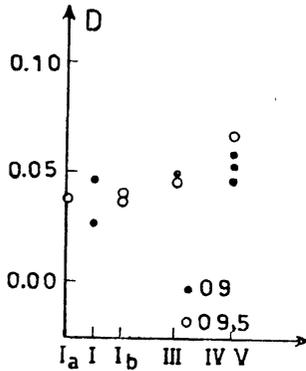


FIG. 2 bis.

Les amplitudes $\Delta \log \frac{I_c}{I_r}$ des courbes pour H_γ , H_δ , H_δ ,

D sont données par le Tableau 1 pour les diverses classes de luminosité.

TABLEAU 1

$$\Delta \log \frac{I_c}{I_r}$$

	I_a	I_b	IV-V
H_γ	0.06	0.13	0.26
H_δ	0.06	0.15	0.30
H_δ	(0.09)*	(0.24)*	0.41
D	0.45	0.59	0.50

* valeurs incertaines.

Les amplitudes des courbes pour D sont notablement plus grandes que pour H_δ , surtout pour la classe I_a et pour la I_b dans laquelle la discontinuité atteint pour F0 des valeurs supérieures à celles atteintes pour A0 dans les classes III et IV-V ; pour H_δ , au contraire, les courbes ont une amplitude notablement plus petite pour I_a et I_b que pour III et IV-V. Pour I_a on peut dire en gros que H_δ reste presque constante. Cette différence de comportement entre H_δ et D est celle qui rend possible l'usage de ces deux paramètres pour une classification bidimensionnelle.

La différence de comportement entre les trois raies de l'hydrogène étudiées, est trop petite pour qu'on puisse espérer pouvoir tirer quelque critère de classification bidimensionnelle de la comparaison de deux d'entre elles. La variation régulière d'amplitude de H_γ à D, extrapolant et interpolant les résultats trouvés pour $n = 5$, $n = 6$, $n = 8$, $n = \infty$, à $n = 3$, $n = 4$ et $n \geq 9$ permet toutefois

d'avancer l'hypothèse qu'une classification soit possible, employant comme paramètre H_α ou H_β , et une raie de BALMER de nombre quantique élevé ($n \geq 9$). On pourra avoir une confirmation de cette hypothèse en utilisant des spectrogrammes de dispersion un peu plus grande que celle employée ici (100 à 150 Å/mm à H_γ au lieu de 225).

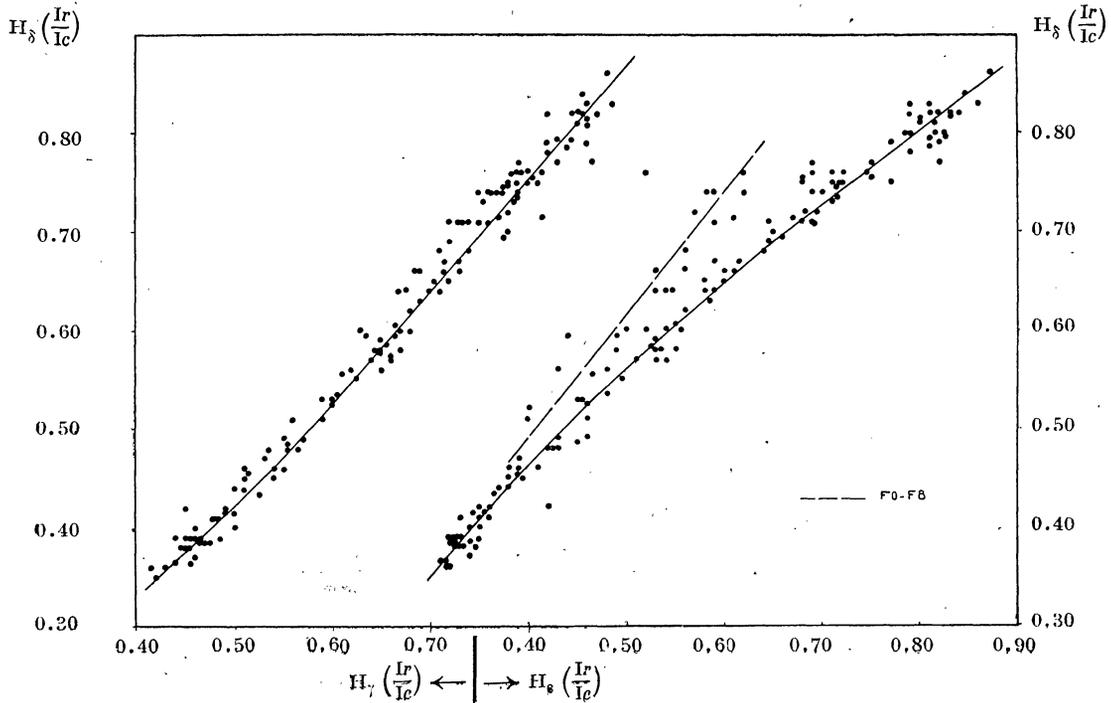


FIG. 3.

On a cependant étudié les relations ($H_\delta H_\gamma$) et ($H_\delta H_\beta$) (fig. 3). La relation ($H_\delta H_\gamma$) ne s'éloigne pas beaucoup d'une droite. On peut remarquer que les étoiles des types F5-F8 pour une même valeur de H_δ présentent une intensité pour H_γ plus grande que les étoiles des autres types spectraux ; cela est probablement dû à la présence de raies voisines de H_γ , blend avec elle. Mais, d'autre part, on remarqué une tendance générale des étoiles A1-F8 à montrer, pour une valeur donnée de H_δ des intensités pour H_γ plus grandes que les étoiles B0-A0 ; fait rendu évident par la variation de pente de la courbe vers la zone où se groupent les A0-A3 et, en outre, par les écarts avec la courbe moyenne des étoiles F0-F8. Trois points s'éloignent notablement plus que les autres de la courbe moyenne : considérons d'abord ceux qui correspondent à HD 188 209 (O9-I) et à 6 Cephei (B3-III) ; ils montrent que pour H_γ l'intensité est relativement trop faible par rapport à celle de H_δ . Dans la relation ($H_\delta H_\beta$) on remarque aussi que pour 6 Cephei l'intensité de H_δ est trop faible par rapport à celle en H_β . Ces faits s'expliquent par la présence d'une composante en émission à H_γ et d'une plus faible à H_δ . Pour HD 188 209 au contraire c'est H_β qui paraît trop faible par

rapport à H_{δ} . Ou bien cette étoile présente une composante en émission à H_{γ} et à H_{δ} et pas à H_{δ} , ou bien, ce qui semble plus probable, elle a une intensité trop forte pour H_{δ} , et cela, comme nous le verrons plus loin, conduira à la classer O9-V, dans notre classification (H_{δ} D) alors qu'elle a été classifiée O9-I par MORGAN et aussi dans la classification (λ_1 D) [5]. Le troisième point correspond à γ Cygni (F8-I_b) et donne une intensité pour H_{γ} excessivement forte par rapport à H_{δ} . Cet écart avec la courbe moyenne est encore plus accentué dans la relation (H_{δ} H_{δ}) dans laquelle l'intensité de H_{δ} est très grande par rapport à celle de H_{δ} : cela peut s'expliquer soit par la présence de raies blend avec H_{δ} , soit par l'incertitude dans le tracé du continu.

La relation (H_{δ} H_{δ}) présente une dispersion notable par rapport à la courbe moyenne des points représentatifs des étoiles F0-F8 : les intensités de H_{δ} sont toutes trop fortes, par rapport à celles en H_{δ} , pour les raisons qui viennent d'être données. Une courbe moyenne a été tracée pour ces dernières étoiles. On observe seulement un écart notable dans l'autre sens, c'est-à-dire H_{δ} trop faible par rapport à H_{δ} , pour l'étoile α Piscis australis (A3-V) pour laquelle on ne disposait que d'un seul spectrogramme. En ce qui concerne la dépendance de la luminosité on peut seulement dire que dans la relation (H_{δ} H_{δ}) les écarts avec la courbe moyenne sont plus notables pour les étoiles F0-F8 de classe I et III, que pour celles des mêmes types spectraux de classe IV-V.

La liaison qui existe entre les trois raies de BALMER est suffisamment étroite pour qu'on puisse se borner à en étudier une seule qu'on utilisera comme critère de classification. L'examen de ces deux relations montre que, des trois raies, H_{δ} est celle qui se prête le mieux à être utilisée comme critère de classification spectrales avec la discontinuité, puisque elle est moins influencée que H_{γ} par des composantes en émission, moins que H_{δ} et H_{γ} par des blends avec raies voisines ; en outre, elle est favorisée par rapport à H_{γ} par une dispersion légèrement supérieure (188 Å/mm) et se trouve dans une zone spectrale où le tracé du continu est toujours suffisamment sûr.

Relation (H_{δ} D). — La figure 4 donne la relation (H_{δ} D) pour les étoiles des premiers types pour lesquelles H_{δ} et D n'ont pas encore atteint leur maximum, et la figure 5 la même relation pour les étoiles pour lesquelles H_{δ} et D ont dépassé le maximum. On voit que les points représentatifs se groupent selon le type spectral et la luminosité. Pour les types O6-O7 tous les points se groupent dans une même aire, qui se place à peu près dans le prolongement de la bande correspondant aux classes I_a, I_b ; cela a une signification physique évidente puisque toutes les étoiles des types O6-O7 ont une haute luminosité et on ne peut pas parler d'une séparation entre naines et géantes. Les étoiles de type O9 se groupent suivant trois classes seulement : I_a, I_b-III et IV-V.

Sur le diagramme de la figure 5 on remarque que la séparation entre

les classes III et IV-V devient de plus en plus petite à partir des types F0-F2; ce comportement donne une interprétation physique du fait que le nombre d'étoiles de type plus avancé que F5, et de luminosité intermédiaire entre géantes et naines est bien plus faible que pour les types spectraux précédents.

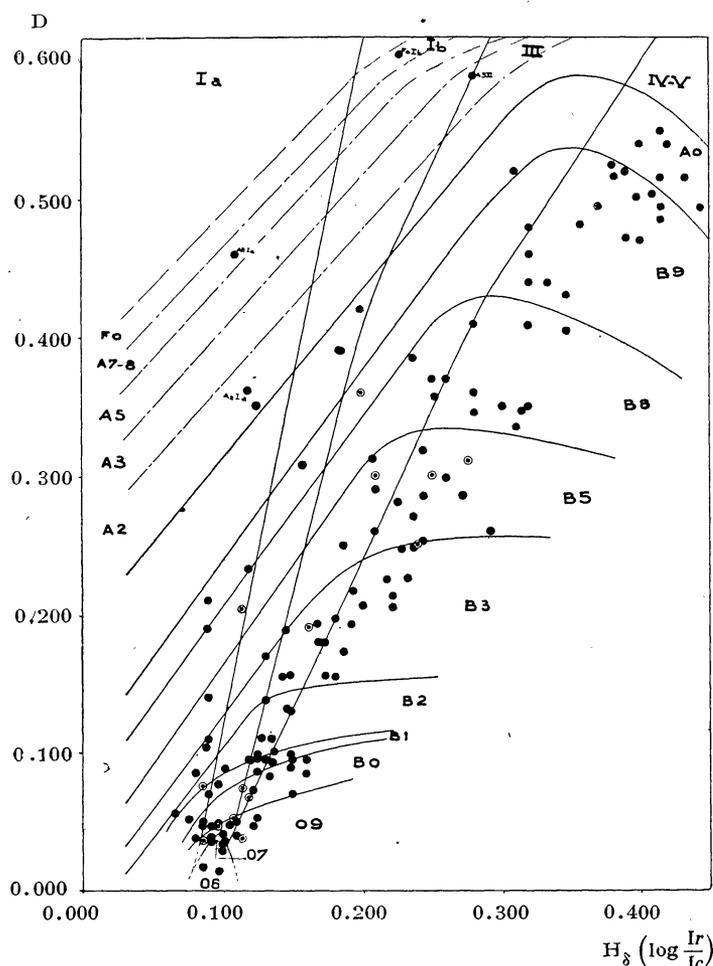


FIG. 4. — ● étoiles dont la place dans le graphique correspond à la classification ($\lambda_1 D$)
○ exceptions.

L'accord avec la classification ($\lambda_1 D$) est bon; sur 140 étoiles on a des résultats discordants dans 25 cas; avec la classification de MORGAN sur 70 étoiles on a des résultats discordants dans 17 cas; mais dans la plupart des cas les points représentatifs tombent au voisinage de l'aire qui représente le type de l'étoile dans le système ($\lambda_1 D$) ou dans le système de MORGAN; les cas dans lesquels la différence est grande sont discutés dans les remarques du Tableau 2.

Pour les types A0-A2 vers lesquels H_δ et D atteignent leur maximum une classification avec les seuls critères H_δ et D est impossible puisque une seule aire correspond à ces différents types. Une classification satisfaisante peut être obtenue, comme nous le verrons, en employant les intensités centrales de H_δ et K . Dans

le Tableau 2 on donne celui des deux types spectraux fourni par les deux diagrammes des figures 4 et 5 qui est en meilleur accord avec la classification (H^{δ} K).

Pour avoir un plus grand nombre d'étoiles, surtout les étoiles des types A0-F8 étant en nombre insuffisant, on a utilisé, comme l'avaient fait CHALONGE et DIVAN [5], la série des spectres qui avaient été étudiées antérieurement par

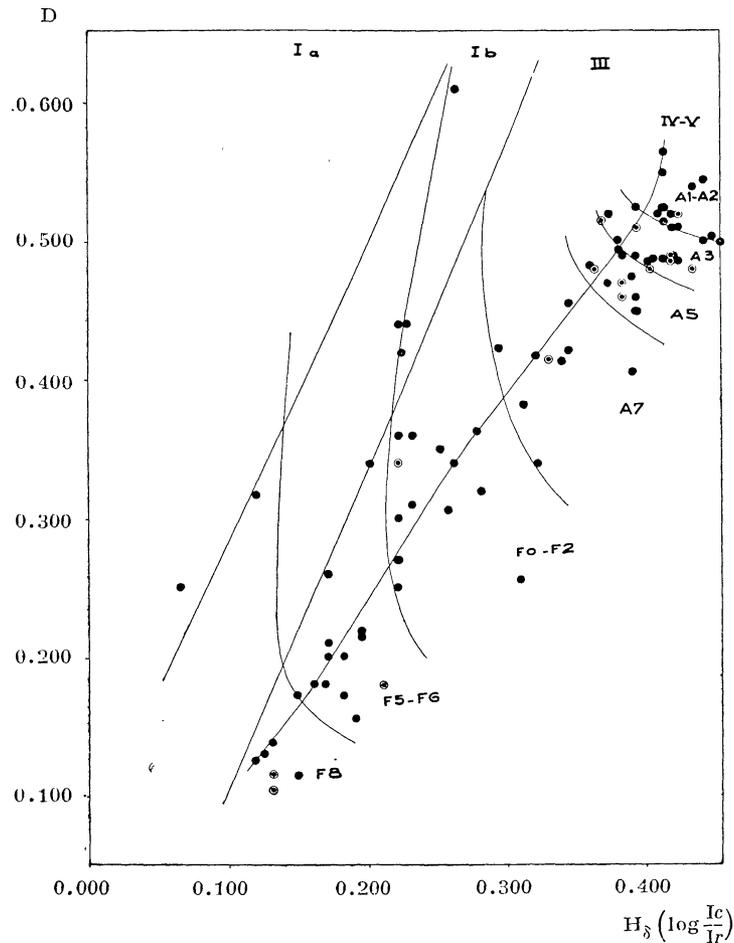


FIG. 5. — Les symboles sont les mêmes que pour la figure 4.

BARBIER et CHALONGE [3], [8] : ces spectres ont été obtenus au Jungfraujoch avec un prisme objectif, et leur dispersion est d'environ 80 Å/mm à H_{γ} . Les détails concernant la réduction d'un système à l'autre pour les deux paramètres D et λ_1 sont donnés dans [5]. Sur ces spectres on avait déjà mesuré pour les raies H_{γ} , H_{δ} et K une intensité plus voisine de la véritable intensité totale et qui est définie dans [8]. En utilisant 80 étoiles qui avaient été observées à la fois avec le spectrographe à fente (nous l'appellerons : système II) et avec le prisme objectif (système I) on a pu procéder à la réduction de I à II. Les relations entre les deux systèmes pour H_{γ} , H_{δ} , K sont données par la figure 6. Les intensités mesurées

TABLEAU 2

ÉTOILES	YERKES (ou HD)	TYPE										I_r/I_c						
		$\lambda_1 D$	$H_\delta D$	$H_\delta K$	H_δ	4 026	D	$H_\delta \left(\log \frac{I_c}{I_r} \right)$	H_γ	H_δ	H_7	H_8	H_9	4 026	3 819	G	K	
λ Cep	06	06	06	—	—	—	0.027	0.086	0.85	0.82	0.82	0.84	0.86	0.915	0.93	—	(1)	
HD 206 267	(06n)	06	06	—	—	—	0.029	0.100	0.83	0.795	0.79	0.81	0.83	0.92	0.935	—	—	
14 Cep	(09n)	07V	07	—	—	—	0.034	0.100	0.845	0.795	0.795	0.825	0.81	0.895	0.91	—	—	
68 Cyg	07	07	07	—	—	—	0.036	0.092	0.86	0.81	0.81	0.815	0.83	0.90	0.92	—	(2)	
ξ Per	07	09	07	—	—	—	0.042	0.097	0.84	0.80	0.795	0.815	0.84	0.88	0.91	—	—	
HD 207 198	(09s)	09I	09I _b	—	—	—	0.048	0.105	0.84	0.785	0.775	0.81	0.83	0.87	0.91	—	—	
HD 188 209	09I	09I	09V	—	—	—	0.027	0.114	0.865	0.77	0.795	0.82	0.815	0.885	0.915	—	(3)	
ι Ori	09III	09III	09I _b	—	—	—	0.049	0.097	0.84	0.80	0.79	0.79	0.76	0.895	0.89	—	—	
Boss 1 249	(09ss)	09V	09V	—	—	—	0.053	0.125	0.81	0.75	0.74	0.77	0.75	0.87	0.90	—	—	
10 Lac	09V	09V	09V	—	—	—	0.047	0.122	0.805	0.755	0.745	0.75	0.75	0.88	0.905	—	—	
59 Cyg	(B0p)	09V	—	—	—	—	0.014	0.086	0.87	0.82	0.82	0.79	0.80	0.91	0.875	—	(4)	
α Cam	09.5I _a	09.5I _a	09.5I _a	—	—	—	0.038	0.081	0.885	0.83	0.83	0.86	0.86	0.90	0.90	—	—	
ζ Ori	09.5I _b	09.5I _b	09.5I _b	—	—	—	0.039	0.092	0.86	0.81	0.80	0.83	0.81	0.90	0.91	—	—	
19 Cep	09.5I _b	09.5I _b	09I _b	—	—	—	0.036	0.102	0.86	0.79	0.78	0.82	0.82	0.89	0.90	—	—	
δ Ori	09.5III	09.5III	09.5I _b	—	—	—	0.047	0.092	0.85	0.81	0.82	0.80	0.815	0.90	0.91	—	—	
σ Ori	09.5V	09.5V	B0III	—	—	—	0.068	0.119	0.79	0.76	0.71	0.72	0.74	0.88	0.88	—	(5)	
ε Ori	B0I _a	B0I _a	B0I _a	—	—	—	0.050	0.086	0.855	0.82	0.81	0.83	—	0.90	0.91	—	—	
69 Cyg	B0I _b	B0I _b	09I _b	—	—	—	0.042	0.097	0.84	0.80	0.765	0.825	—	0.88	0.90	—	(6)	
26 Cep	B0II	B0II	09.5I _b	—	—	—	0.043	0.086	0.845	0.82	0.805	0.82	—	0.905	0.92	—	(7)	
φ_1 Ori	B0III	B0III	B0IV	—	—	—	0.083	0.134	0.79	0.735	0.71	0.715	—	0.88	0.87	—	—	
2 Vul	(B0mn)	B0III	B0III	—	—	—	0.073	0.122	0.805	0.755	0.745	0.68	—	0.89	0.885	—	—	
40 Per	(B2)	B0V	B0V	—	—	—	0.089	0.149	0.74	0.71	0.69	0.69	—	0.86	0.825	—	—	
π Aqr	(B1e)	B0V	BIII	—	—	—	0.095	0.119	0.785	0.76	0.73	0.745	—	0.865	0.86	—	(8)	
α Ori	B0.5I _a	B0.5I _a	B0I _a	—	—	—	0.047	0.086	0.85	0.82	0.825	0.83	—	0.915	0.91	—	—	
α Aql	B0.5III	B0.5III	BII _a	—	—	—	0.076	0.086	0.82	0.82	0.79	0.81	—	0.90	0.89	—	(9)	
ε Per	B0.5III	B0.5V	B0.5III	—	—	—	0.087	0.125	0.78	0.75	0.73	0.72	—	0.88	0.86	—	—	
α Cas	BII _a	BII _a	BII _a	—	—	—	0.052	0.076	0.855	0.84	0.80	0.845	—	0.91	0.91	—	—	

TABLEAU 2 (suite)

ÉTOILES	TYPE										I_r/I_c						
	YERKES (ou HD)		$\lambda_1 D$	$H_{\delta} D$	$H_{\delta} K$	$H_{\delta} 4\ 026$	D	$H_{\delta} \left(\log \frac{I_c}{I_r} \right)$	H_{γ}	H_{δ}	H_7	H_8	H_9	4 026	3 819	G	K
ζ Per	B1I _b	B1I _b	B1I _b	B1I _b	—	—	0.077	0.097	0.815	0.80	0.785	—	—	—	—	—	
HD 205 139	(B1s)	B1I	B0II	B0II	—	—	0.053	0.108	0.82	0.78	0.79	—	—	0.89	0.865	—	
1 Cas	B1III	B1III	B0III	B0III	—	—	0.074	0.114	0.79	0.77	0.735	—	—	0.885	0.87	—	
α Per	B1III	B1III	B1III	B1III	—	—	0.096	0.125	0.78	0.75	0.72	—	—	0.90	0.875	—	
β Cep	B1IV	B1IV	B1IV	B1IV	—	—	0.095	0.131	0.775	0.74	0.71	—	—	0.88	0.87	—	
η Ori	B1V	B1V	B1V	B1V	—	—	0.093	0.136	0.755	0.73	0.705	—	—	0.885	0.855	—	
λ_2 Ori	B2I _a	B2I _a	B2I _a	B2I _a	—	—	0.056	0.066	0.88	0.86	0.82	—	—	0.905	0.915	—	
9 Cep	B2I _b	B2I _b	B2I _b	B2I _b	—	—	0.089	0.102	0.82	0.79	0.75	—	—	0.89	0.89	—	
25 Ori	(B3me)	B2III	B2III	B2III	—	—	0.111	0.128	0.775	0.745	0.705	—	—	0.88	0.885	(10)	
π_5 Ori	(B3)	B2III	B2III	B2III	—	—	0.138	0.161	0.79	0.74	0.70	—	—	0.87	0.85	—	
12 Lac	B2III	B2III	B1V	B1V	—	—	0.099	0.161	0.76	0.71	0.69	—	—	0.84	0.86	—	
δ Cet	(B2)	B2III	B2III	B2III	—	—	0.130	0.149	0.735	0.71	0.655	—	—	0.855	0.835	—	
γ Ori	B2IV	B2IV	B2III	B2III	—	—	0.143	0.146	0.77	0.715	0.67	—	—	0.86	0.83	—	
1 H Cam	(B3p)	B2V	—	—	—	—	0.101	0.137	0.785	0.73	0.70	—	—	0.865	0.835	(11)	
ν Cyg	(B3e)	B2V	—	—	—	—	0.099	0.125	0.80	0.75	0.71	—	—	0.87	0.84	(12)	
ζ Cas	B2,5IV	B2,5IV	B2,5IV	B2,5IV	—	—	0.155	0.181	0.73	0.66	0.62	—	—	0.835	0.825	—	
γ Peg	B2,5IV	B2,5IV	B2,5IV	B2,5IV	—	—	0.156	0.174	0.73	0.67	0.64	—	—	0.84	0.81	—	
χ Aur	B3I _b	B3I _a	B3I _a	B3I _a	—	—	0.104	0.089	0.86	0.815	0.765	—	—	0.905	0.93	—	
55 Cyg	B3I _a	B3I _a	B3I _a	B3I _a	—	—	0.096	0.081	0.86	0.83	0.75	—	—	0.88	0.88	—	
ω_1 Cyg	(B3)	B3I _b	B3III	B3III	—	—	0.191	0.162	0.72	0.69	0.64	—	—	0.87	0.845	(13)	
π_1 Cyg	(B3)	B3III	B3III	B3III	—	—	0.197	0.181	0.715	0.66	0.61	—	—	0.86	0.845	—	
π_2 Cyg	(B3)	B3III	B3III	B3III	—	—	0.193	0.168	0.74	0.68	0.63	—	—	0.84	0.85	(14)	
ε Cas	B3III	—	—	—	—	—	—	0.237	0.65	0.58	0.54	—	—	0.86	0.85	(15)	
6 Cep	(B3e)	B3III	B3III	B3III	—	—	0.189	0.146	0.815	0.715	0.645	—	—	0.865	0.855	(16)	
π_4 Ori	(B3)	B3III	B3III	B3III	—	—	0.156	0.149	0.75	0.71	0.69	—	—	0.86	0.87	—	
103 Tau	(B3)	B3III	B3IV	B3IV	—	—	0.173	0.187	0.705	0.65	0.605	—	—	0.85	0.845	—	
31 Peg	(B3e)	B3III-IV	B3III	B3III	—	—	0.155	0.143	0.78	0.72	0.71	—	—	0.86	0.87	—	

TABLEAU 2 (suite)

ÉTOILES	TYPE				I_r/I_c											
	YERKES (ou HD)	$\lambda_1 D$	$H_{\delta} D$	$H_{\delta} K$	$H_{\delta} 4 026$	D	$H_{\delta} \left(\log \frac{I_c}{I_r} \right)$	H_{γ}	H_{δ}	H_7	H_8	H_9	4 026	3 819	G	K
57 Cyg	(B3)	B3IV	B3IV	—	B3V	0.247	0.229	0.65	0.59	0.54	0.53	—	0.885	0.855	—	—
ι Her	B3IV	B3IV	B3IV	—	B3V	0.206	0.201	0.69	0.63	0.59	0.585	—	0.85	0.83	—	—
<i>AI Cam</i>	(B3p)	B3IV	—	—	B3III	0.131	0.155	0.78	0.70	0.67	0.65	—	0.89	0.88	—	(17)
ϵ Per	(B3p)	B3IV	B3IV	—	B5III	0.217	0.194	0.71	0.64	0.60	0.58	—	0.90	0.86	—	(18)
σ Sgr	B3IV-V	B3IV-V	B3IV	—	B2,5IV	0.180	0.174	0.715	0.67	0.61	0.59	—	0.835	0.82	—	—
η Aur	B3V	B3V	B3V	—	B3V	0.248	0.237	0.65	0.58	0.535	0.535	—	0.85	0.83	—	—
<i>HD 34 452</i>	(cAOp)	B3V	B3V	—	B5III	0.213	0.222	0.67	0.60	0.55	0.54	—	0.92	—	—	(19)
η U Ma	B3V	B3V	B3V	—	B3V	0.225	0.218	0.665	0.605	0.57	0.55	—	0.85	0.825	—	—
16 Peg	B3V	B3V	B3V	—	B3V	0.202	0.222	0.68	0.60	0.55	0.555	—	0.84	0.83	—	—
BS 7 739	(B3)	B3V	B3V	—	B3V	0.193	0.193	0.70	0.64	0.61	0.59	—	0.86	0.82	—	—
35 Ari	(B3)	B3V	B3V	—	B3V	0.226	0.233	0.655	0.585	0.53	0.525	—	0.845	0.835	—	—
67 Oph	B5I _b	B5I _b	B5I _b	—	B5I _b	0.170	0.131	0.77	0.74	0.68	0.68	—	0.88	0.88	—	—
π Cet	(B5)	B5III	B5V	—	B5V	0.311	0.276	0.60	0.53	0.475	0.455	—	0.905	—	—	—
\circ Cas	(B2)	B5III	B5III	—	B5III	0.250	0.187	0.72	0.65	0.58	0.58	—	0.91	0.88	—	—
δ Per	B5III	B5III	B5III	—	B3III	0.313	0.208	0.68	0.62	0.55	0.56	—	0.89	0.86	—	(20)
τ Her	B5IV	B5IV	B5IV	—	B5V	0.253	0.244	0.66	0.57	0.54	0.54	—	0.88	0.865	—	—
ζ Dra	(B5)	B5IV	B5IV	—	B8III	0.319	0.244	0.66	0.57	0.54	0.53	—	0.915	—	—	(21)
ϵ Del	(B5)	B5IV	B5IV	—	B5V	0.299	0.260	0.625	0.55	0.51	0.495	—	0.90	0.875	—	—
2 Lac	(B5)	B5V	B5V	—	B5V	0.286	0.244	0.64	0.57	0.52	0.51	—	0.88	—	—	—
π And	(B3)	B5V	B5V	—	B3V	0.271	0.237	0.645	0.58	0.54	0.53	—	0.86	0.81	—	—
α And	(B9p)	B5V	B5V	—	—	0.286	0.272	0.605	0.535	0.475	0.48	—	—	—	—	(22)
3 Vul	(B5)	B5V	B5V	—	B5V	0.260	0.292	0.59	0.51	0.48	0.46	—	0.90	0.89	—	—
β Pis	(B5c)	B5V	B5IV	—	B5V	0.282	0.226	0.665	0.595	0.52	0.49	—	0.895	0.84	—	—
η Tau	B8III	B8III	B8III	—	B8III	0.385	0.237	0.67	0.58	0.54	0.49	—	0.90	0.94	—	—
ϕ And	(B8)	B8III	B8III	B8III	B8III	0.356	0.252	0.65	0.56	0.49	0.48	—	0.90	0.89	—	0.92
λ Aql	(B9)	B8V	B8V	—	B8V	0.405	0.347	0.54	0.45	0.42	0.395	—	0.92	—	—	—
η Aqr	(B8)	B8V	B8V	B8V	B8V	0.409	0.319	0.535	0.48	0.435	0.425	—	0.935	—	—	0.96

TABLEAU 2 (suite)

ETOILES	YERKES (ou HD)	TYPE										I_r/I_c					
		$\lambda_1 D$	$H_{\delta} D$	$H_{\delta} K$	$H_{\delta} 4 026$	D	$H_{\delta} \left(\log \frac{I_c}{I_r} \right)$	H_{γ}	H_{δ}	H_7	H_8	H_9	4 026	3 819	G	K	
41 Ari	(B8)	B8V	B8V	B8V	—	—	0.350	0.319	0.555	0.48	—	—	—	—	—	—	—
ξ Tau	(B8)	B8V	B8V	B8V	B8V	—	0.347	0.314	0.555	0.485	0.465	—	—	—	—	—	0.93
σ Cyg	B9I _a	B9I _a	B9I _a	B9I _a	B9I _a	—	0.233	0.119	0.815	0.76	—	—	—	—	—	—	0.93
4 Lac	B9I _{ab}	B9I _{ab}	B9I _b	B9I _b	B9I _b	—	0.308	0.158	0.775	0.695	—	—	—	—	—	—	0.885
δ Cyg	A0III	B9IV	B9IV	B9IV	B9V	—	0.482	0.357	0.51	0.44	—	—	—	—	—	—	0.895
π_2 Ori	(A0)	B9V	B9V	A1V	—	—	0.517	0.382	0.50	0.415	—	—	—	—	—	—	0.89
\circ Peg	(A0)	B9V	B9V	A1V	—	—	0.495	0.415	0.475	0.385	—	—	—	—	—	—	0.825
ζ Peg	(B8)	B9V	B9V	B9V	B8V	—	0.440	0.333	0.55	0.46	—	—	—	—	—	—	0.835
α Peg	B9V	—	—	B9V	B9V	—	—	0.382	0.49	0.415	—	—	—	—	—	—	0.90
θ Aql	(A0)	B9V	B9V	B9V	B9V	—	0.502	0.398	0.50	0.40	—	—	—	—	—	—	0.895
γ Aqr	(A0)	B9V	B9V	B9V	B9V	—	0.486	0.415	0.465	0.385	—	—	—	—	—	—	0.89
α Del	(B8)	B9V	B9V	B9V	B9V	—	0.431	0.347	0.51	0.45	—	—	—	—	—	—	0.895
ω Her	(A0p)	B9V	B9V	B9V	B9V	—	0.472	0.409	0.485	0.39	—	—	—	—	—	—	0.90
3 H Cam	(cA0e α)	A0I _a	B8I _a	A0I _a	—	—	0.204	0.114	0.83	0.77	—	—	—	—	—	—	0.90
γ Lyr	B9III	A0III	A0III	—	—	—	0.521	0.310	0.57	0.49	—	—	—	—	—	—	0.825
γ Tri	(A0)	A0V	B9V	A0V	—	—	0.504	0.409	0.45	0.39	—	—	—	—	—	—	(24)
γ Oph	A0V	A0V	A0V	A0V	—	—	0.494	0.444	0.415	0.36	—	—	—	—	—	—	0.85
α Lyr	A0V	A0V	A0V	A0V	—	—	0.516	0.432	0.46	0.37	—	—	—	—	—	—	0.86
ζ Aql	(A0)	A0V	A0V	A0V	—	—	0.516	0.415	0.465	0.385	—	—	—	—	—	—	0.86
ε UMa	(A0p)	—	—	B9V	—	—	—	0.420	0.465	0.38	—	—	—	—	—	—	0.89
ν Cyg	(A0)	—	—	A1IV	—	—	—	0.362	0.525	0.435	—	—	—	—	—	—	0.92
θ Peg	(A2)	A1V	A2V	A3V	—	—	0.525	0.409	0.44	0.39	—	—	—	—	—	—	0.81
α Lac	(A0)	A1V	A2V	A2V	—	—	0.511	0.420	0.445	0.38	—	—	—	—	—	—	0.74
ε Aqr	A1V	A1V	A1IV	A2V	—	—	0.565	0.409	0.46	0.39	—	—	—	—	—	—	0.795
ρ Aql	(A0)	A1V	A2V	A2V	—	—	0.504	0.444	0.43	0.36	—	—	—	—	—	—	0.79
ν Tau	(A0)	A1V	A1V	A1V	—	—	0.545	0.438	0.44	0.365	—	—	—	—	—	—	0.76
α Cyg	A2I _a	A2I _a	A2I _a	A2I _a	—	—	0.362	0.119	0.80	0.76	—	—	—	—	—	—	0.82
												0.92	0.89	—	—	—	0.79 (25)

TABLEAU 2 (suite)

ÉTOILES	YERKES (ou HD)	TYPE						I_r/I_c							
		$\lambda_1 D$	H δ D	H δ K	H δ 4 026	D	H δ $\left(\log \frac{I_c}{I_r}\right)$	H γ	H δ	H ϵ	H ζ	H η	H θ	H ι	H κ
ν Cep	A2I _a	A2I _a	A2I _a	A2I _a	—	0.351	0.125	0.79	0.75	—	—	—	—	—	—
δ Aqr	(A2)	A2V	A1V	A3V	—	0.550	0.409	0.455	0.39	—	—	—	—	0.89	0.675 (26)
γ Cet	(A2)	A2V	A3V	A3V	—	0.486	0.415	0.455	0.385	—	—	—	—	—	0.705
δ Her	A3IV	A3IV	A5IV	A3IV	—	0.495	0.377	0.47	0.42	—	0.935	—	—	—	0.76 (27)
δ UMa	A3V	A3V	A3V	A3V	—	0.486	0.398	0.46	0.40	—	0.96	—	—	—	0.72
40 Cyg	(A0)	A3V	A3V	A3V	—	0.501	0.438	0.455	0.365	—	—	—	—	—	0.69
α PsA	A3V	—	—	A3IV	—	—	0.377	0.45	0.42	—	—	—	—	—	0.67
β Tri	A5III	A5III	A3III	A5IV	—	0.501	0.377	0.49	0.42	—	—	—	—	—	0.58 (28)
α Oph	A5III	A5III	A5III	A5III	—	0.483	0.357	0.50	0.44	—	—	—	—	—	0.58
72 Oph	(A3)	A5V	A3V	A5V	—	0.486	0.420	0.45	0.38	—	—	—	—	—	0.58
δ Cas	A5V	—	—	A5V	—	—	0.420	0.45	0.38	—	—	—	—	—	0.51
β Ari	A5V	A5V	A5V	A5V	—	0.475	0.387	0.48	0.41	—	—	—	—	—	0.65
μ And	(A2)	A5V	A3V	A5V	—	0.488	0.409	0.465	0.39	—	—	—	—	—	0.525
θ Cas	(A5)	—	—	A7V	—	—	0.387	0.48	0.41	—	—	—	—	—	0.52 (29)
τ Peg	(A5)	A7III	A7III	A7III	—	0.456	0.342	0.515	0.455	—	—	—	0.89	0.555	—
θ Cep	(A5)	A7V	A7V	A7V	—	0.422	0.342	0.51	0.46	—	—	—	—	—	0.52
α Cep	A7V	A7V	A7IV	A7V	—	0.418	0.319	0.57	0.48	—	—	—	0.83	0.50	—
α Aql	A7V	A7V	A7V	A7V	—	0.414	0.337	0.54	0.46	—	—	—	—	—	0.52
λ Pis	(A5)	A7V	A7V	A7V	—	0.407	0.387	0.48	0.41	—	—	—	0.825	0.48	—
γ Equ	(F0p)	A7V	A7V	A7V	—	0.383	0.310	0.55	0.49	—	—	—	—	—	0.47
γ Her	A9III	A9III	A9III	A9III	—	0.423	0.292	0.56	0.51	—	—	—	0.84	0.35	—
γ Cap	F0III	—	—	F0III	—	—	0.276	0.555	0.53	—	—	—	0.855	0.44	—
ρ_1 Sgr	(A5)	F0III	A7IV	A9III	—	0.415	0.328	0.53	0.47	—	—	—	0.85	0.42	—
δ Cap	(A5)	F0III	F0III	A7III	—	0.363	0.276	0.59	0.53	—	—	—	0.88	0.595	—
ϵ Cep	F0V	F0V	F0V	A9V	—	0.320	0.280	0.60	0.525	—	—	—	0.85	0.465	—
π Sgr	F2II	—	—	F2II	—	—	0.226	0.635	0.595	—	—	—	0.83	0.24	—
β Cas	F2III	—	—	F2III	—	—	0.252	0.62	0.56	—	—	—	0.82	0.34	—

REMARQUES AU TABLEAU 2

- 1) Valeur de D corrigée [9] d'après nouvelles déterminations : $D = 0.017$; type $(\lambda_1 D) = 06$; type $(H_\delta D) = 06$.
- 2) Valeur de D corrigée [9] : $D = 0.014$; type $(\lambda_1 D) = 07$; type $(H_\delta D) = 06$.
- 3) H_δ anormalement intense par rapport à H_γ et H_β . En adoptant pour H_δ la valeur qui lui conviendrait par les relations $(H_\delta H_\gamma)$ et $(H_\delta H_\beta)$ (fig. 3) on aurait $H_\delta = 0.82$ et l'étoile tomberait dans le secteur 09I.
Valeur de D corrigée [9] : $D = 0.038$; type $(\lambda_1 D) = 09,5I_a$; type $(H_\delta D) = 09V$.
- 4) La présence de composantes en émission dans les raies de BALMER ne permet pas de déterminer le type $(H_\delta D)$. Pour la détermination de D' (discontinuité qu'on aurait en absence d'émission) voir [5] : $D' = 0.060$.
- 5) Les intensités de l'hélium et de 4 200 concordent en faveur d'une classification BO plutôt que 09,5.
- 6) 69 Cygni se place à la limite 06-09, quoique l'apparence générale du spectre (He et 4 200) soit en faveur d'une classification BO.
- 7) Valeur de D corrigée [9] : $D = 0,036$; type $(\lambda_1 D) = BOII$; type $(H_\delta D) = 09I_b$.
- 8) Le point se place à la limite entre B1 et B2, et les classes I_b et III. L'intensité des raies de l'hélium est en faveur de cette dernière classification.
- 9) Le point se place à la limite B1-B2, dans la classe I_a .
- 10) 25 Ori, qui avait été observée dans les systèmes I et II, s'éloigne notablement des courbes moyennes de la figure 6 relatives à H_γ et H_δ , montrant que les intensités de H_γ et de H_δ mesurées dans le système I sont excessivement faibles par rapport à celles mesurée dans le système II. Puisque 25 Ori est une étoile Be, il est probable que les composantes en émission de H_γ et H_δ se sont notablement affaiblies entre 1941 et l'époque de ces dernières observations.
- 11) Considérations analogues que dans 4) : $D' = 0.131$.
- 12) Considérations analogues que dans 4) : $D' = 0.144$.
- 13) Le point se place nettement parmi les B3III. L'intensité des raies de l'hydrogène est sûrement plus grande que pour les étoiles B3I_b ; l'intensité des raies de l'hélium est aussi plus forte que dans la moyenne des étoiles de la classe I.
- 14) Dans la classification $(H_\delta 4 026)$ le point se place très près de l'aire B3III.
- 15) L'étoile est classée V à cause de l'intensité des raies de BALMER.
- 16) Composantes en émission en H_γ et H_δ clairement mises en évidence par les relations $(H_\gamma H_\delta)$ et $(H_\delta H_\beta)$. Prenant pour H_δ la valeur qui lui conviendrait par la relation $(H_\delta H_\beta)$ (en admettant que la composante en émission en H_β soit négligeable ou inexistante) l'étoile serait classée B3V.
- 17) Mêmes considérations que dans 4), 11), 12) : $D' = 0.171$.
- 18) Dans la classification $(H_\delta 4 026)$ le point se place très près de la limite de l'aire B3V.
- 19) Très pauvre en hélium. Les raies 4 471, 4 388, 4 144, 4 009 et 3 819 qui sont généralement bien mesurables dans toutes les étoiles des premiers types, sont presque invisibles ; 4 026 est très faible. La raie 4 120, qui, dans les autres étoiles des premiers types, est presque toujours beaucoup plus faible que 4 144, est ici assez intense ($I_r/I_c = 0.87$).
- 20) Dans la classification $(H_\delta 4 026)$ le point se place très près de l'aire B5III.
- 21) Hélium très faible ; K mesurable. Dans la classification $(H_\delta 4 026)$ le point se place parmi les étoiles B8III, tandis que dans la classification $(H_\delta D)$ il se place parmi les B5IV mais près de la limite de l'aire B8III.
- 22) Dans la classification $(H_\delta D)$ l'étoile se place nettement dans l'aire B5V. La raie K n'est pas visible ; aucune raie de l'hélium n'est mesurable.

- 23) L'intensité de la raie K place le point dans l'aire A1V dans la classification ($H_{\delta}K$). Dans la classification ($H_{\delta}D$) il se place dans l'aire B9V mais près de la limite de l'aire A0V.
- 24) K très faible, non mesurable.
- 25) Riche en hélium ; toutes les principales raies sont mesurables.
- 26) L'intensité de la bande G fait pencher pour la classification A3V ($H_{\delta}K$) plutôt que A1V ($H_{\delta}D$).
- 27), 28) Dans la classification ($H_{\delta}D$) les points se placent à la limite de A3-A5 et III-IV.
- 29) Dans la classification ($H_{\delta}K$) le point se place à la limite entre A5 et A7.

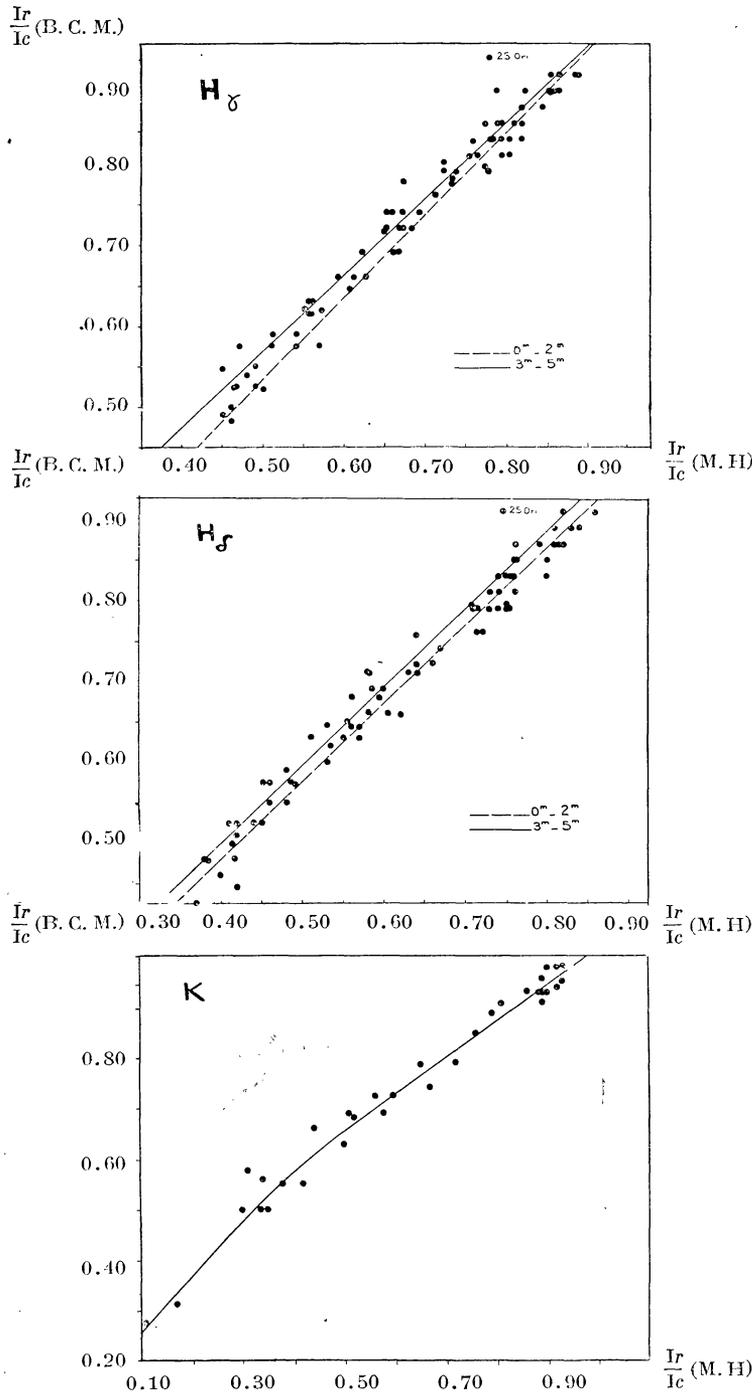


FIG. 6.

dans I sont toutes plus faibles que celles mesurées dans II ; mais la différence est plus notable pour les étoiles de magnitude 3 à 5 que pour les étoiles de magnitude 0 à 2, à cause du voile produit sur les spectres I par le fond du ciel lorsque le temps de pose était grand [5]. Aussi a-t-on tracé deux courbes moyennes, une pour les étoiles de magnitude 0-2, une pour les autres. Toutefois pour la raie K pour laquelle on dispose d'un nombre notablement plus petit de points, il n'a été possible de tracer qu'une seule courbe moyenne.

Dans le Tableau 3 ont été reportées après réduction au système II les valeurs des intensités des spectres qui avaient été étudiés seulement dans I ; les points correspondants portés dans le diagramme ($H_{\delta}D$) donnent des résultats en bon accord avec les valeurs données par la classification ($\lambda_1 D$). Sur 88 étoiles, 25 ont été classées un peu différemment, mais presque toujours les points se disposent au voisinage de la surface relative au type ($\lambda_1 D$). Les cas exceptionnels ont été signalés dans les remarques au Tableau 3.

TABLEAU 3

ÉTOILES	TYPE					I_r/I_c				
	YERKES (ou HD)	$\lambda_1 D$	$H_\delta D$	$H_\delta K$	D	$H_\delta \left(\log \frac{I_c}{I_r} \right)$	H_γ	H_δ		K
S Mon	07	07	06	—	0.025	0.10	0.815	0.79	—	(1)
λ Ori	08	08	09III	—	0.05	0.11	0.84	0.78	—	
ζ Oph	09,5V	09,5V	09IV	—	0.04	0.11	0.815	0.78	—	
δ Sco	B0V	B0V	B0V	—	0.095	0.15	0.75	0.71	—	
τ Sco	B0V	B0V	B0V	—	0.07	0.15	0.775	0.71	—	
β Sco	B0,5IV	B0,5IV	B0,5V	—	0.095	0.16	0.755	0.69	—	
ρ Leo	B1Ib	B2Ia	B1Ib	—	0.07	0.09	0.815	0.81	—	(2)
ε CMa	B2II	B1V	B2II	—	0.095	0.12	0.79	0.76	—	(3)
β CMa	(cB1)	B2III	B2III	—	0.11	0.135	0.79	0.73	—	
π Sco	B2IV	B0IV	B0V	—	0.085	0.16	0.735	0.69	—	
α_2 CMa	B3Ia	B3Ia	B3Ia	—	0.11	0.09	0.84	0.81	—	
ε Cas	B3III	B5III	B3V	—	0.25				—	(4, 12)
u Her	(B3)	B3V	B3III	—	0.18	0.17	0.72	0.68	—	(5)
η CMa	B5Ia	B5Ia	B5Ia	—	0.14	0.09	0.82	0.81	—	
20 Tau	(B5)	B5III	B5III	—	0.29	0.21	0.70	0.62	—	
τ Ori	(B5)	B5V	B5III	—	0.30	0.21	0.70	0.62	—	
λ Tau	(B3)	B5V	B5IV	—	0.26	0.21	0.70	0.62	—	
β Ori	B8Ia	B8Ia	B8Ia	B8Ia	0.19	0.09	0.845	0.81	0.92	
β Tau	B8III	B5IV	B5V	B8III	0.30	0.25	0.62	0.56	0.92	(6)
β CMi	B8V	B8V	B8IV	B8V	0.41	0.28	0.59	0.525	0.95	
α Leo	B8V	B8V	B8III	B8III	0.37	0.25	0.61	0.56	0.92	
β Lib	B8V	B8V	B8IV	B8IV	0.37	0.26	0.63	0.55	0.95	
β Per	B8V	B8V	B8V	B8V	0.35	0.30	0.595	0.50	0.95	
γ Crv	(B8)	B8V	B8V	B8IV	0.345	0.28	0.63	0.525	0.92	
α_2 CVn	(A0p)	B8V	B8V	B9V	0.335	0.31	0.565	0.49	0.92	
ϕ Her	(B9p)	B8V	B8V	B8V	0.36	0.28	0.60	0.525	0.95	
27 Tau	(B8)	B8V	B9III	B8III	0.36	0.20	0.70	0.63	0.92	
2 H Cam	(cB9)	B9Ia	B9Ia	B9Ia	0.21	0.09	0.86	0.81	0.88	
θ Aur	(A0p)	B9III	B9III	B8V	0.48	0.32	0.565	0.48	0.95	(7)
δ Crv	B9V	B9V	B9V	A0V	0.47	0.40	0.47	0.40	0.85	(8)
α Peg	B9V	B9V	B9V	B9V	0.525					(12)
κ Cep	(B9)	B9V	B9V	B9V	0.46	0.32	0.565	0.48	0.92	
θ Crt	(B9)	B9V	B9V	B9V	0.44	0.32	0.565	0.48	0.92	
α Dra	(A0p)	B9V	B9V	B9V	0.52	0.39	0.48	0.405	0.92	
η Leo	A0Ib	A0Ib	A0Ib	A0Ib	0.42	0.20	0.70	0.63	0.88	
13 Mon	A0Ib	A0Ib	A0Ib	B8Ib	0.39	0.185	0.725	0.65	0.92	(9)
γ Gem	A0IV	A0IV	A0IV	A1V	0.54	0.40	0.50	0.40	0.79	
α CrB	A0V	A0V	B9V	A0V	0.495	0.37	0.51	0.425	0.85	
γ UMa	A0V	A0V	A0V	A0V	0.55	0.415	0.45	0.385	0.88	

TABLEAU 3 (*suite*)

ÉTOILES	TYPE					$H_{\delta} \left(\log \frac{I_c}{I_r} \right)$	I_r/I_c			
	YERKES (ou HD)	$\lambda_1 D$	$H_{\delta} D$	$H_{\delta} K$	D		H_{γ}	H_{δ}	K	
ε UMa	A0V	A0V	A0V	B9V	0.54					(12)
α CMa	A1V	A1V	A0V	A0V	0.50	0.45	0.45	0.355	0.88	
α Gem	A1V	A0V	B9V	A0V	0.48	0.40	0.50	0.40	0.88	
β UMa	A1V	A1V	A0V	A1V	0.525	0.39	0.51	0.41	0.85	
λ UMa	A2IV	A2IV	A2IV	A2V	0.52	0.415	0.455	0.385	0.79	
β Ser	A2IV	A5IV	A3V	A3V	0.49	0.415	0.44	0.385	0.71	
β Aur	A2IV	A2IV	A3III	A2IV	0.515	0.365	0.52	0.43	0.82	
η Oph	A2V	A2V	A3V	A3V	0.48	0.43	0.43	0.37	0.74	
ζ Boo	(A2)	A2V	A2IV	A3V	0.52	0.405	0.43	0.395	0.74	
θ Leo	(A0)	A2V	A1V	A1V	0.54	0.43	0.41	0.37	0.82	
ε Ser	(A2)	—	—	A2,5V	—	0.40	0.455	0.40	0.76	
ζ UMa	(A2p)	A2V	A2V	A1V	0.525	0.41	0.47	0.39	0.85	
γ UMi	A3II-III	A3II-III	A3II	A0III	0.59	0.28	0.585	0.525	0.88	(10)
ζ UMi	(A2)	A3III	A3III	A3IV	0.52	0.37	0.49	0.425	0.77	
β Leo	A3V	A3V	A2V	A3V	0.515	0.41	0.47	0.39	0.64	
38 Lyn	A3V	A3V	A3V	A3V	0.49	0.415	0.455	0.385	0.74	
ζ Vir	A3V	A5V	A5V	A3IV	0.46	0.38	0.47	0.415	0.71	
α PsA	A3V	A3V	A5IV	A3IV	0.48					(12)
δ Leo	(A3)	A3V	A3V	A5V	0.51	0.415	0.44	0.385	0.595	
α_2 Lib	(A3)	A3V	A5III	A3III	0.48	0.36	0.50	0.435	0.71	
β Eri	(A3)	A5III	A3V	A5IV	0.49	0.39	0.46	0.405	0.615	
θ Gem	(A2)	A5III	A3IV	A5IV	0.51	0.39	0.47	0.405	0.64	
δ Cas	A5V	A3IV	A2V	A5V	0.52					(11, 12)
α Cnc	(A3)	A5V	A5V	A5IV	0.45	0.39	0.48	0.405	0.64	
λ Gem	(A2)	A5V	A5V	A5IV	0.46	0.39	0.455	0.405	0.61	
90 Tau	(A3)	A5V	A5IV	A5IV	0.47	0.37	0.48	0.425	0.57	
ι UMa	(A5)	A5V	A5V	A7V	0.45	0.39	0.49	0.41	0.455	
19 Aur	(cA5)	—	—	A5Ib	—	0.215	0.66	0.61	0.595	
γ Boo	A7III	A7III	A5V	A7V	0.47	0.38	0.51	0.415	0.465	
β CrB	(F0p)	A7V	A7V	A7V	0.34	0.32	0.535	0.48	0.49	
ε Aur	A8Ia	A8Ia	A8Ia	A8Ia	0.46	0.11	0.755	0.78	0.37	
α Lep	F0Ib	F0Ib	F0Ib	F0Ib	0.61	0.26	0.62	0.55	0.30	
ζ Leo	F0III	F2III	F2III	F2III	0.36	0.22	0.665	0.60	0.325	
μ Cet	(F0)	F0IV	F0IV	F0IV	0.34	0.26	0.60	0.55	0.47	
γ Vir	F0V	F0V	F2IV	F0V	0.27	0.22	0.65	0.60	0.43	
α Crv	(dF2)	F0V	F2V	F0V	0.25	0.22	0.67	0.60	0.43	
23 UMa	(F0)	F0V	F2III	F2V	0.34	0.22	0.66	0.60	0.345	
π Sgr	F2II	F2II	F5Ib	F2II	0.44					(12)

TABLEAU 3 (suite)

ÉTOILES	TYPE					$H_{\delta} \left(\log \frac{I_c}{I_r} \right)$	I_r/I_c		
	YERKES (ou HD)	$\lambda_1 D$	$H_{\delta} D$	$H_{\delta} K$	D		H_{γ}	H_{δ}	K
β Cas	F2III	F2III	F2III	F2III	0.35				(12)
ν UMa	F2III	F2III	F2III	F2III	0.36	0.23	0.63	0.59	0.40
α_1 Eri	(dF2)	F2III	F2III	F2III	0.31	0.23	0.63	0.59	0.36
16 Per	(F0)	F2III	F2III	F2III	0.30	0.22	0.66	0.60	0.37
δ Gem	F2IV	F2IV	F2IV	F0IV	0.27	0.22	0.65	0.60	0.47
ν Per	F5II	F5II	F5II	F5II	0.34	0.20	0.66	0.63	0.26
π Peg	(gF5)	—	—	F5III	—	0.18	0.70	0.67	0.31
ζ Aqr	(dF2)	F5III	F5III	F5III	0.26	0.17	0.70	0.68	0.37
κ Peg	(dF5)	F5III	F5III	F5III	0.20	0.17	0.70	0.68	0.345
α CMi	F5IV	F5IV	F5III	F5IV	0.21	0.17	0.68	0.68	0.285
ρ Pup	F6II	F6II	F5V	F5V	0.18	0.21	0.62	0.62	0.36
θ Boo	F6IV	F6IV	F6III	F6IV	0.18	0.16	0.69	0.69	0.26
π_3 Ori	F6V	F6V	F6V	F5V	0.155				(12)
δ CMa	F8Ia	F8Ia	F8Ia	F8Ia	0.25	0.065	0.86	0.86	0.20
β Vir	F8V	F8V	F8V	F8V	0.13	0.125	0.75	0.75	0.245
θ Per	(dF8)	—	—	F6V	—	0.155	0.735	0.70	0.31
α UMi	(cF8)	—	—	F8Ib	—	0.14	0.735	0.725	0.155

REMARQUES AU TABLEAU 3

- 1) Valeur de D corrigée [9] d'après nouvelles déterminations : $D = 0.042$; type ($\lambda_1 D$) = 07 ; type ($H_{\delta} D$) = 08.
- 2) Près de la limite avec l'aire B1I_a.
- 3) A la limite entre B1 et B2.
- 4) Près de la limite avec l'aire B5V.
- 5) A la limite entre III et V.
- 6) L'intensité de K place le point dans l'aire B8III, dans la classification ($H_{\delta} K$), en accord avec la classification de MORGAN.
- 7) L'intensité de K, excessivement faible, conduit à une classification B8V dans le diagramme ($H_{\delta} K$).
- 8) K très intense pour une étoile B9.
- 9) La faible intensité de K place le point parmi les B8I_b dans la classification ($H_{\delta} K$).
- 10) La faible intensité de K place le point parmi les A0 dans la classification ($H_{\delta} K$).
- 11) Tandis que dans le diagramme ($H_{\delta} D$) le point se place nettement dans l'aire A2V, dans le diagramme ($H_{\delta} K$), à cause de l'intensité de K, il se place dans l'aire A5V, presque à la limite de l'aire A7V.
- 12) Pour les valeurs de H_{γ} , H, K_{δ} , voir le Tableau 2.

MESURES DE L'INTENSITÉ CENTRALE DE LA RAIE K DU Ca II,
DE LA BANDE G ET DE QUELQUES AUTRES RAIES MÉTALLIQUES

Il serait très important de trouver un autre critère qui, accouplé à la mesure de l'intensité de H_8 , pourrait être substitué à la mesure de D dans une classification spectrale bidimensionnelle, étant donné que la mesure de D devient pratiquement impossible pour étoiles de type plus avancé que F8. Pour cela on a mesuré l'intensité centrale de la raie K du Ca II, de la bande G et des blends métalliques à 4 175, 4 130, 4 078 et 4 030 Å. Ces dernières raies sont trop faibles dans les spectrogrammes dont nous disposons et ne peuvent pas être employées comme critère quantitatif précis ; on ne dispose d'ailleurs que d'un nombre insuffisant de spectres de type avancé.

La bande G change régulièrement avec le type spectral et ne semble pas dépendre de la luminosité. Mais dans ce cas aussi il faudrait disposer d'observations plus nombreuses. Il n'a été possible de mesurer ni la bande G ni les autres raies faibles (métalliques et de l'hélium), sur les spectres du système I, qui, malgré leur plus grande dispersion n'étaient pas de très bonne qualité [8].

Il reste encore à donner les résultats des mesures d'intensité centrale apparente de la raie K. Elle n'a pas été mesurée dans les types spectraux antérieurs à B8, dans lesquels elle est d'origine interstellaire, et elle est, en outre, presque toujours blend avec les raies 3 936 et 3 926 de l'He I. On a noté, en comparant la raie H_8 avec la raie H_7 qui est blend avec la raie H du Ca II, l'influence de l'absorption interstellaire et sa dépendance de la luminosité. Sur les 77 étoiles appartenant aux types O6-B5, on remarque que 23 ont pour H_7 une intensité centrale plus grande que pour H_8 , 39 ont $H_7 = H_8$ et 15 ont pour H_7 une intensité plus petite que pour H_8 . Parmi les 23 étoiles pour lesquelles H_7 est plus intense que H_8 , 4 sont de type O6 et O7, 15 de classe I_a , I_b et II, 2 de classe III, une O9-V et une autre est classée B0-V dans le diagramme ($\lambda_1 D$) tandis que dans le diagramme ($H_8 D$) elle se place parmi les B1-II. Parmi les 54 autres étoiles il y a une seule O7, seulement trois étoiles de classe I (pour lesquelles $H_7 = H_8$) ; toutes les autres sont classées III, IV-V. Par conséquent on voit que statistiquement dans les étoiles de grande luminosité la raie $H_7 + H$ est plus intense que H_8 . Puisque les magnitudes apparentes de la plupart des étoiles étudiées ne sont pas très différentes (4^e-5^e magnitude), ce fait constitue un contrôle, quoique insuffisant, du caractère de luminosité des étoiles classées I. On peut ajouter que parmi les trois étoiles I pour lesquelles $H_7 = H_8$ deux sont de magnitude apparente respectivement 2,2 et 2,9.

La figure 7 donne l'allure de la variation de l'intensité centrale de la raie K en fonction du type spectral, le paramètre étant la luminosité. On voit que la

raie K est fonction de la luminosité, avec un comportement un peu compliqué ; en effet, entre B8 et A5 les classes I_a , I_b et IV-V ont à parité de type spectral, environ les mêmes valeurs pour l'intensité de K, tandis que la classe III a une intensité un peu plus petite. Vers A5 la courbe IV-V va environ à coïncider avec la III, tandis que les intensités correspondantes à I_a et I_b restent plus fortes. Ce comportement fait prévoir la possibilité d'obtenir une classification bidimen-

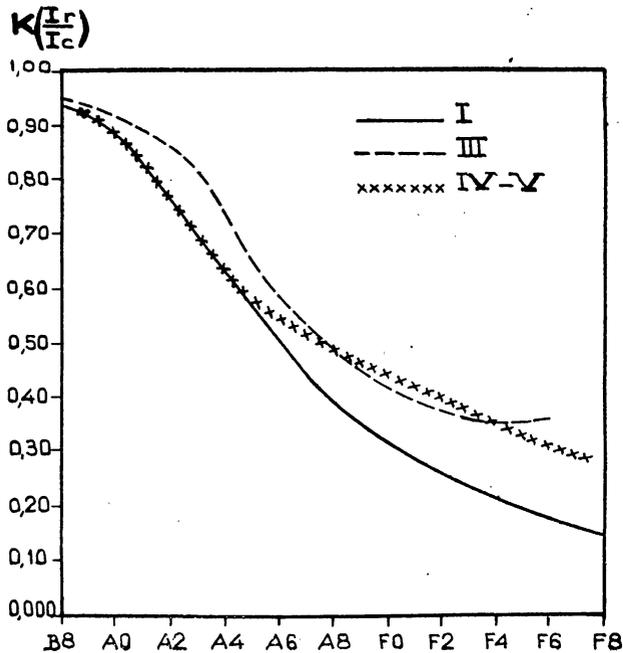


FIG. 7.

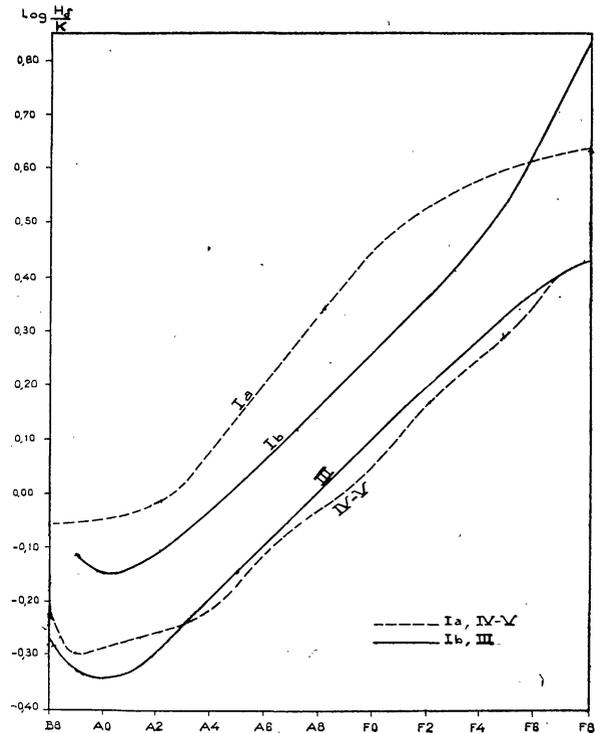


FIG. 8.

sionnelle, en employant comme paramètre les intensités centrales de H_δ et K ; une telle classification ne sera pas complètement satisfaisante parce que de A8 jusqu'à F8 les classes III et IV-V ont les mêmes valeurs moyennes pour K que pour H_δ ; pour ces types-là on devra se borner à grouper ensemble les étoiles des classes III et IV-V.

La figure 8 donne l'allure de $\log \frac{H_\delta}{K}$ en fonction du type spectral, le paramètre étant toujours la luminosité. Ce graphique montre clairement l'existence d'une séparation nette entre les courbes I_a , I_b et III. Les courbes III et IV-V sont au contraire très peu différenciées.

La figure 9 donne la relation entre les intensités centrales de H_δ et de K. On voit que les points se groupent assez bien selon la luminosité et le type spectral, mais, comme on l'a dit plus haut, il n'est pas possible de distinguer les classes III et IV-V au delà du type A7.

Le comportement de H_{δ} , décrit sur la figure 1 permet de comprendre pourquoi, dans la figure 9, les points correspondant aux classes III-IV-V sont, à partir du

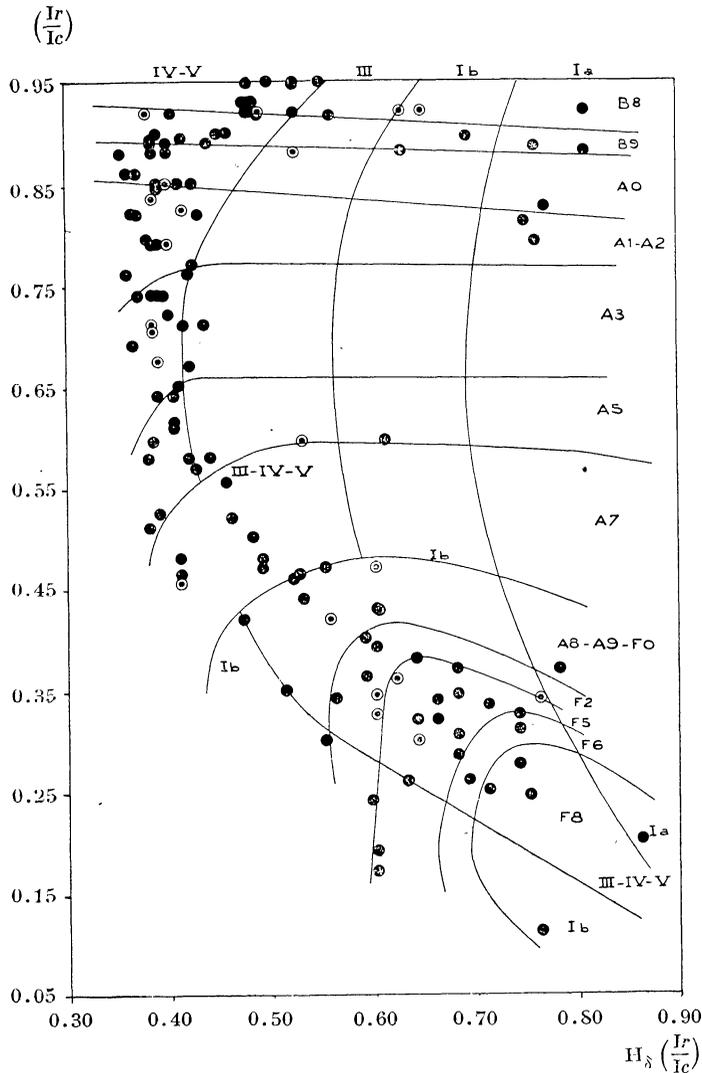


FIG. 9.

Les symboles sont les mêmes que pour la figure 4.

joue, quoique en seconde approximation, l'abondance relative du calcium. Il serait désirable d'étendre l'étude aux étoiles de type plus avancé que F8 pour lesquelles une classification ($H_{\delta}K$) est particulièrement utile.

RÉSULTATS DES MESURES POUR L'HÉLIUM ET LA RAIE λ 4 200

Il était dans notre intention de trouver aussi pour les étoiles des premiers types spectraux des critères de classification qui puissent remplacer λ_1 et D. Pour cela on a mesuré les intensités centrales des principales raies, c'est-à-dire λ 4 471, 4 388, 4 144, 4 026 et 3 819 de He I pour les types O6-A0 et λ 4 200

pour les types O6-B1. On voit sur la figure 10 les courbes donnant l'intensité centrale des raies 4 026 et 3 819 en fonction du type spectral, le paramètre étant la luminosité. Exception faite pour les classes Ia et Ib pour lesquelles les intensités apparaissent sûrement plus faibles que pour les autres classes de luminosité du même type spectral, les courbes pour les classes III, IV et V se montrent à peu près uniquement fonction de la température.

Il devrait donc être possible de réaliser une classification bidimensionnelle en employant l'intensité centrale d'une raie de l'He qui caractériserait principalement le type spectral et l'intensité de H_{δ} qui est fonction à la fois du type et de la classe de luminosité. Parmi les raies de l'He, λ 4 471 est presque toujours blend avec λ 4 481 du Mg II ; λ 3 819 est influencée par les ailes de H_{γ} et parfois blend avec elle ; quant aux autres raies, excepté 4 026, elles sont généralement trop faibles pour être utilisables.

Il reste 4 026 qui avec H_{δ} permet de faire une classification en bon accord avec les autres, pour les étoiles B2,5-B9 (pour lesquelles 4 026 a déjà dépassé le maximum d'intensité) (fig. 11). Sur 48 étoiles on a 6 discordances de classification avec le système (λ_1 D). Ces cas ont été discutés dans les remarques du tableau 2.

Considérons maintenant les types antérieurs à B3 : les étoiles des types O6, O9 et des classes Ia et Ib des types B0-B3 s'accroissent sur une même aire.

On n'a pas obtenu de meilleurs résultats en utilisant comme paramètres H8 et 4 026 ni en remplaçant 4 026 par 3 819 qui a une amplitude de variation d'intensité plus grande. En outre, le diagramme de la figure 11, présente un inconvénient grave, que n'ont pas les deux diagrammes analogues des figures 4 et 5 (D et H_{δ}) et de la figure 9 (H_{δ} et K) : il n'est pas possible de tracer des courbes continues d'égal type spectral et d'égale luminosité, mais seulement de tracer des aires séparées pour les divers types mais réparties de façon un peu irrégulière.

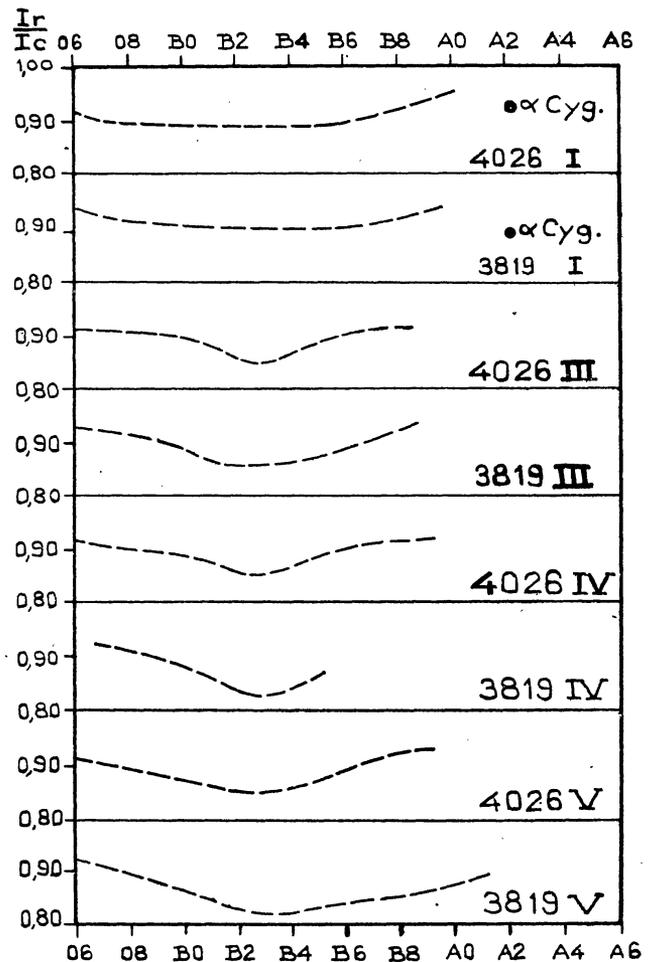


FIG. 10.

Il semble que l'hélium pourrait donner de meilleurs résultats si l'on employait des spectrogrammes de dispersion un peu plus grande que 225 Å/mm à H_γ ; par exemple environ 150 Å/mm à H_γ et si l'on faisait les microphotogrammes avec un plus grand rapport d'agrandissement. Pour les raisons données plus haut on n'a pas mesuré les intensités centrales des raies de l'He sur les spectrogrammes du système I.

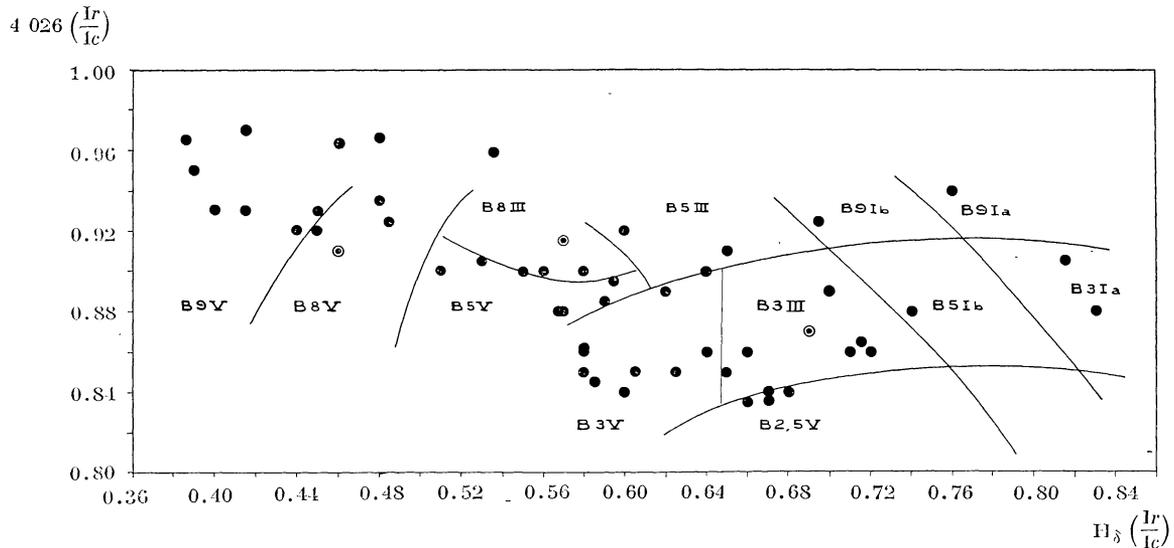


FIG. 11.

Les symboles sont les mêmes que pour la figure 4.

Parmi les 5 étoiles de la fin du tableau 2 pour lesquelles on n'a pas mesuré la discontinuité, il y en a deux, 16 Lacertae et HD 24 131 qui font partie des premiers types spectraux. On a donc déterminé leur type spectral avec le seul diagramme de la figure 11.

L'intensité de la raie $\lambda 4 200$, qui est toujours très faible, diminue de O6 à B0, où elle devient à peine perceptible ; on la trouve encore dans les étoiles B1, B2 de classe I_a et I_b , tandis qu'elle n'est plus mesurable ou absolument invisible dans les étoiles du même type de classe III ou IV-V.

Manuscrit reçu le 24 juillet 1953.

Je veux ici remercier l'UNESCO pour l'attribution d'une bourse d'étude qui a rendu possible l'exécution de ce travail.

J'adresse un remerciement en particulier à M. CHALONGE de l'Institut d'Astrophysique pour sa très aimable hospitalité.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] W. W. MORGAN, P. C. KEENAN, E. KELLMANN, *An Atlas of stellar spectra*, Chicago.
- [2] D. BARBIER, D. CHALONGE, *Annales d'Astrophysique*, **2**, 1939, 254.
- [3] D. BARBIER, D. CHALONGE, *Annales d'Astrophysique*, **4**, 1941, 30.
- [4] D. BARBIER, D. CHALONGE, R. CANAVAGGIA, *Annales d'Astrophysique*, **10**, 1947, 195.
- [5] D. CHALONGE, L. DIVAN, *Annales d'Astrophysique*, **15**, 1952.
- [6] B. STRÖMGREN, *A. J.*, **56**, 1951, 142.
- [7] A. UNDERHILL, *Astronomical Society of Pacific*, **63**, 1951, 182.
- [8] D. BARBIER, D. CHALONGE, N. MORGULEFF, *Annales d'Astrophysique*, **4**, 1941, 137.
- [9] L. DIVAN, Communication personnelle.