

# LA CLASSIFICATION STELLAIRE BCD

CLASSIFICATION  
SPECTROPHOTOMÉTRIQUE  
À TROIS DIMENSIONS : LES  
PARAMÈTRES ( $\lambda_1$ , D,  $\Phi$ )

Cette méthode de classification stellaire développée à l'Institut d'Astrophysique de Paris, tire son nom de ses trois principaux créateurs, D. Barbier, D. Chalonge (fondateurs de l'IAP) et L. Divan. Elle fut décrite principalement dans les *Annales d'Astrophysique* (Barbier & Chalonge 1941 ; Baillet et al. 1952 ; Chalonge & Divan 1954). Ce système a permis d'établir une classification pour les étoiles plus chaudes que le Soleil à trois paramètres  $\lambda_1$ , D et  $\Phi$ , mesurables sur les spectres stellaires pris dans le visible et l'ultraviolet proche. Il est connu dans le monde aussi comme le «Système de classification de Paris». Il a représenté une grande avancée dans l'art de la classification spectrale, car le système que l'on utilisait à l'époque (système Morgan, Keenan ou MK) n'était que bidimensionnel et basé sur des appréciations qualitatives des spectres stellaires.

Le paramètre D mesure l'amplitude du saut d'énergie dans le spectre continu des étoiles chaudes, connu sous le nom de discontinuité de Balmer limitée par l'absorption des raies d'hydrogène de la série de Balmer. Il dépend de la température de surface de l'étoile. Le paramètre  $\lambda_1$  est la longueur d'onde donnant la position spectrale moyenne de la discontinuité de Balmer. Elle détermine indirectement la gravité superficielle de l'objet. La quantité  $\Phi$  mesure la pente de la distribution d'énergie dans les grandes longueurs d'onde de la discontinuité de Balmer. Elle est utilisée pour déterminer l'absorption de l'énergie émise par une étoile due à la poussière dans le milieu interstellaire. La Figure 1 schématise la détermination des paramètres ( $\lambda_1$ , D,  $\Phi$ ).

Les paramètres  $\lambda_1$ , D,  $\Phi$  dessinent une surface (Figure 2 et maquette de la surface qui est exposée) dans laquelle les courbes verticales séparent les différents types spectraux (indicateurs de la température superficielle des étoiles) et les courbes horizontales, les classes de luminosité (caractérisant leur état d'évolution).

Le système de classification à trois paramètres est applicable aux étoiles dont les températures vont de 40000 K à 6000 K environ, donc plus chaudes que le Soleil. Les types spectraux sont situés entre O5 et F9 et dans des stades évolutifs allant de «naine» (V) à «supergéante» (Ia). Pour les étoiles les plus «froides» accessibles à ce système, le gradient  $\Phi_b$  peut être aussi un indicateur de leur particularité en composition chimique. Il permet aussi de repérer parmi ces types d'étoiles celles ayant des particularités spectrales dues à leur rotation rapide, ou à des enveloppes circumstellaires qu'elles créent par éjection de matière, ainsi que par des abondances chimiques particulières dans leur atmosphère. Avec les progrès de la modélisation des atmosphères stellaires et les mesures de flux des étoiles sur un large domaine spectral par les satellites, de l'ultraviolet lointain à l'infrarouge, il est devenu possible de relier les paramètres  $\lambda_1$ , D,  $\Phi$  à des quantités physiques comme la température effective d'une étoile, sa gravité superficielle, l'énergie absolue émise dans une longueur d'onde donnée, quantités nécessaires pour estimer sa distance. La détermination de sa brillance absolue sur la totalité de son spectre (luminosité absolue) permet ensuite de déduire le rayon de l'étoile. Ces quantités donnent accès aux modèles d'évolution stellaire pour déterminer la masse, l'âge des étoiles et affiner nos connaissances sur la physique de leur structure interne.

Comme les paramètres  $\lambda_1$ , D,  $\Phi$  sont mesurables sur des spectres à basse dispersion, le système BCD peut devenir de grande utilité pour caractériser des étoiles chaudes dans les relevés spectraux sur un grand champ, qui se développent, dans les galaxies lointaines observées avec la nouvelle génération de télescopes géants.

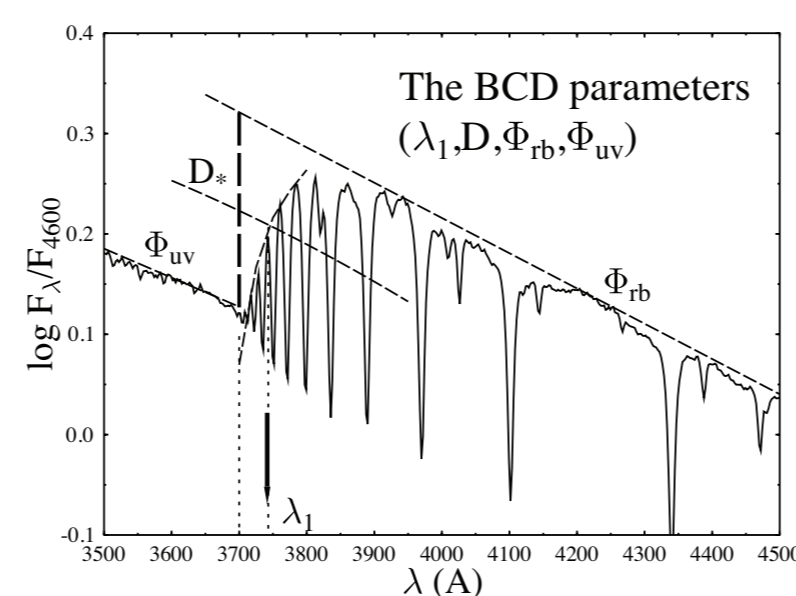


Figure 1 : Le paramètre D de la discontinuité de Balmer est la mesure à la longueur d'onde  $\lambda = 3700$  Å du rapport de l'énergie émise du côté des grandes longueurs d'onde à celle émise du côté des courtes longueurs d'onde, comme montré sur la figure. Le paramètre  $\lambda_1$  donne la position spectrale moyenne de D. Le gradient  $\Phi$  est désigné par  $\Phi_b$  si la pente d'énergie correspond au domaine de longueur d'ondes 4000 - 4600 Å et par  $\Phi_{rb}$  si le domaine mesuré va de 4000 à 6500 Å. Le gradient ultraviolet,  $\Phi_{uv}$  concerne le domaine spectral 3000 - 3500 Å.



Figure 2 : Vue de la surface formée par les 3 paramètres stellaires  $\lambda_1$ , D et  $\Phi$ .



Figure 4 : Vue du microphotomètre construit par D. Chalonge destiné à lire les plaques photographiques produites par son spectrographe.

## LE SPECTROGRAPHE «CHALONGE»

Le spectrographe, du nom de son créateur, D. Chalonge (Figure 3 et spectrographe exposé) fut construit à l'IAP par A. Baillet dans les années 50 (différentes versions ont été construites). Il a permis d'obtenir des spectres d'étoiles dans le domaine de longueur d'onde de 3000 à 7000 Å environ, qui étaient ensuite classés spectralement (type et classe de luminosité) en leur appliquant la méthode BCD. Deux prismes en quartz cristallin en série (prismes de Cornu) constituent les éléments dispersifs. Les spectres étaient enregistrés sur une plaque photographique placée dans un châssis oscillant. Sachant que la transmission de l'atmosphère va en diminuant en allant plus vers l'ultraviolet, l'oscillation du châssis produisait un spectre de hauteur croissante avec la longueur d'onde, permettant une concentration des photons dans le domaine ultraviolet tout en évitant une exposition excessive dans le domaine des longueurs d'ondes plus grandes (voir les exemples de spectres obtenus sur le document placé à côté du spectrographe).

## ÉTUDE DU SPECTRE DE L'OZONE ET ÉTALONNAGE DES SPECTRES BCD

Le spectre continu dans le domaine UV - visible grâce à la lampe à hydrogène développée par D. Chalonge (voir lampe exposée) placée à grande distance, de grande stabilité, a permis de mesurer avec un spectrographe à prisme objectif le spectre de l'ozone, composant qui limite la transmission atmosphérique dans l'UV. Une lampe à vapeur de mercure plus l'émission de poudres fluorescentes excitées par les raies UV de la vapeur de mercure permettait de réaliser une calibration en densité et spectrale (raies du mercure) des spectres stellaires jusqu'à la limite de transmission de l'atmosphère dans l'ultraviolet, domaine qui n'était pas exploité jusqu'alors.

## LE PRODUIT FINAL : LE SPECTRE TRACÉ PAR LE MICROPHOTOMÈTRE

Pour que l'astronome puisse faire des mesures sur le spectre d'une étoile observée, il fallait une dernière étape indispensable, le passage de la plaque photo exposée au télescope dans un instrument de lecture des plaques construit spécialement, le microphotomètre (Figure 4). Un mince pinceau lumineux balayait avec un mouvement mécaniquement très précis la série de spectres (celui de l'étoile et ceux de la lampe de calibration) enregistrés sur une même plaque, pour produire sur un papier photographique pour chaque spectre le tracé de la densité en fonction de la longueur d'onde, dont un exemple est présenté à côté du spectrographe.

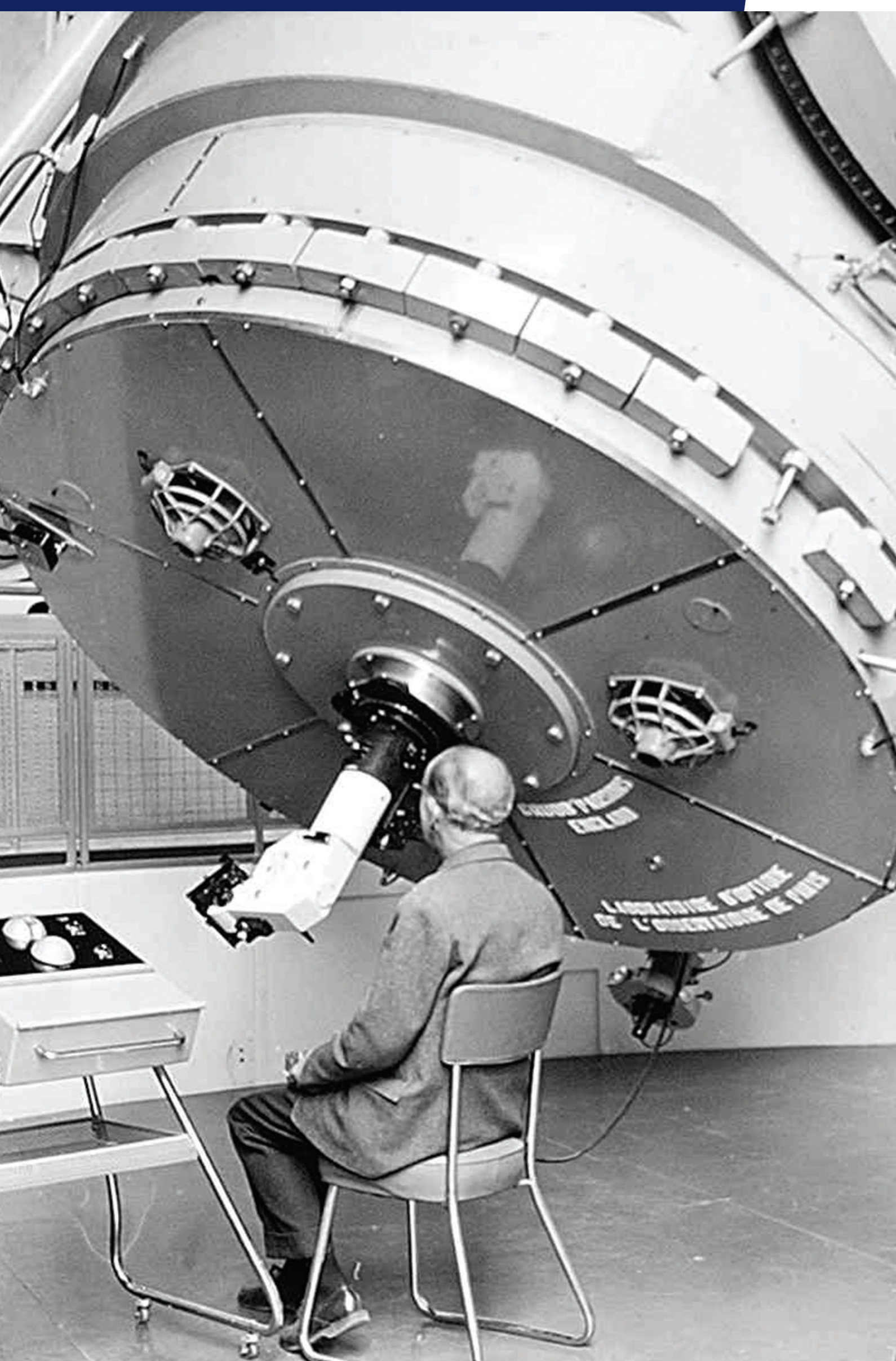


Figure 3 : Daniel Chalonge observant avec son spectrographe au foyer Cassegrain du télescope de 193 cm de l'Observatoire de Haute Provence.