

Les étoiles Be

Juan Zorec, I.A.P.

ARTICLE DE FOND

A l'issue de la seconde partie de cet article qui décrit les propriétés des étoiles chaudes de type spectral B, caractérisées par des raies d'émission, une interrogation subsiste encore : la faculté de produire des enveloppes circumstellaires est-elle un stade obligé de l'évolution des étoiles B ou liée à des conditions particulières au moment de la formation de l'étoile ?

Le spectre infrarouge

Spectre des raies

Parmi les caractéristiques spectrales les plus intéressantes dans l'infrarouge des étoiles Be, on remarque la présence des raies en émission des séries supérieures de l'hydrogène, notamment la série de Paschen.

Tandis que les émissions dans le visible sont le plus souvent vues seulement dans les trois premières raies de Balmer ($H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$), l'émission dans la série de Paschen est très intense et elle va de $Pa\alpha$ (λ 18751 Å) jusqu'à $Pa20$ (λ 8392 Å) et quelquefois jusqu'à des termes encore plus élevés. L'émission dans les raies de Paschen n'est pourtant visible que dans les étoiles Be plus chaudes que B6. Pour chacune des raies de Paschen on trouve aussi une corrélation entre sa largeur à mi-hauteur et le $V_{\sin i}$. La région de formation des émissions dans les raies de Paschen, telle qu'elle est obtenue en utilisant la relation de Huang, est en moyenne plus proche de l'étoile centrale que celle des émissions dans la série de Balmer.

Spectre continu

Pour caractériser la distribution d'énergie dans l'infrarouge, on peut se limiter à deux longueurs d'onde : 3,5 μm et 12 μm . Le rayonnement dans ces deux longueurs d'onde semble être thermique, produit notamment par les transitions libre-libre et libre-lié de l'hydrogène. Il n'y a pas de trace de contribution due aux grains de poussière. L'excès du flux à 3,5 μm d'une étoile Be, mesuré à partir du niveau du flux du rayonnement continu d'une étoile B du même type spectral, n'est jamais supérieur à 2 mag. Il est statistiquement plus fort pour les étoiles Be les plus chaudes et il décroît progressivement vers les étoiles Be plus froides, pour atteindre un maximum de 0,5 mag dans les B9e. Cet excès est légèrement supérieur à la longueur d'onde de 12 μm . Les derniers travaux sur ces excès de flux dans les étoiles Be ne signalent aucune corrélation significative entre ces excès et le $V_{\sin i}$. Si l'enveloppe circumstellaire était fortement aplatie, comme le supposent un bon nombre d'auteurs, les excès de flux à 3,5 μm et à 12 μm devraient être plus intenses dans les étoiles Be avec un $V_{\sin i}$ petit.

La polarisation

On mesure le plus souvent dans les étoiles Be la polarisation linéaire à la longueur d'onde de la magnitude V. Les mesures montrent que la valeur supérieure dans les étoiles Be classiques est $p = 2\%$ dans les plus chaudes et que celle-ci décroît dans les plus froides. Elle n'est que $p = 0.5\%$ parmi les B9e. La polarisation est produite par la dispersion des photons provoquée par les électrons libres dans une enveloppe asymétrique. Elle a donc toutes les chances d'être plus élevée parmi les étoiles les plus chaudes, où le volume ionisé de l'enveloppe circumstellaire est plus grand. Si les enveloppes étaient véritablement très aplaties, elle devrait être aussi plus significative pour les étoiles Be vues dans le plan de l'équateur, donc celles avec un $V \sin i$ plus grand. Or, dans un diagramme où sont portées les valeurs observées de la polarisation en fonction du $V \sin i$, elles se situent dans un triangle.

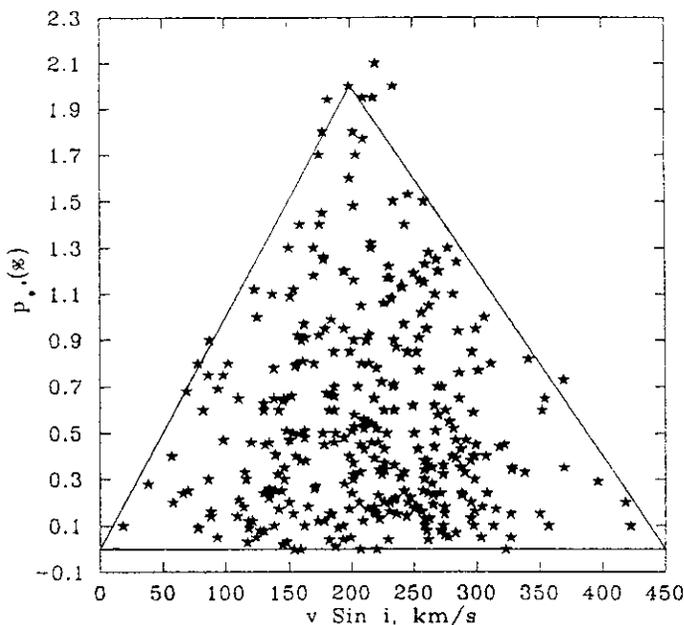


Figure 8 :

Corrélation entre la polarisation p à la longueur d'onde efficace de la magnitude V et le $V \sin i$. Les valeurs de p pour chaque $V \sin i$ dépendent de la structure physique des enveloppes circumstellaires et des paramètres qui les caractérisent. Si les enveloppes devaient être toutes des disques plats, les valeurs de p devraient se situer en dessous d'une diagonale qui traverse entièrement le diagramme, parallèle au côté gauche du triangle de la figure (Yudin 2001).

La polarisation augmente depuis 0% à $V \sin i \approx 0 \text{ km s}^{-1}$ elle est la plus intense à $V \sin i = 200 \text{ km s}^{-1}$, puis elle décroît vers 0% à $V \sin i \approx 400 \text{ km s}^{-1}$ (voir figure 8). Il est donc clair que les enveloppes aplaties ne donnent pas toujours des explications satisfaisantes à la polarisation et ainsi sur la

géométrie la plus probable de l'enveloppe circumstellaire des étoiles Be.

Notons que le problème de la géométrie des enveloppes circumstellaires des étoiles Be n'est pas une question anodine. Cette géométrie dépend en grande partie du mode d'éjection de matière dominant. Ce mode, à son tour, dépend des instabilités que l'étoile subit. L'ensemble de ces phénomènes, perte de masse continue incluse, sont des phénomènes dont la nature et l'origine sont mal compris.

L'interférométrie des étoiles Be

Les nouvelles techniques d'interférométrie ont permis d'évaluer le diamètre des enveloppes circumstellaires de quelques étoiles Be. Celles-ci sont en accord avec les estimations obtenues par l'analyse des données spectroscopiques et spectrophotométriques. À savoir, les raies de Balmer se forment dans une région qui est de l'ordre de 10 rayons stellaires, tandis que le continu visible se forme dans un environnement d'un à trois rayons stellaires. Ces mêmes données suggèrent aussi un certain aplatissement, mais les paramètres estimés dépendent des modèles proposés, ce qui rend incertaine toute conclusion sur leur aplatissement.

Des techniques semblables à celles développées à l'Observatoire de la Côte d'Azur ont montré l'existence de perturbations non axisymétriques dans les enveloppes circumstellaires en fonction desquelles il serait possible de rendre compte des variations V/R des raies en émission.

Modèle d'étoile Be

La description des faits les plus saillants dans les étoiles Be : rotation élevée, présence de raies en émission, polarisation du rayonnement, signes de grande activité (superionisation, vents stellaires, sursauts lumineux, pulsations non radiales, rayons X, etc.), variabilité spectroscopique et spectrophotométrique, donne des éléments qu'un modèle phénoménologique devrait pouvoir expliquer de manière plus ou moins cohérente. Le modèle rotationnel de Struve peut rendre compte de la production de raies en émission dans des enveloppes circumstellaires autour des objets en rotation rapide. Malgré la simplicité de ce modèle, ses difficultés majeures sont :

1 - les étoiles Be n'ont pas de rotation critique et l'éjection de matière par l'équateur est compromise ;

2 - une même étoile peut avoir, à des époques différentes, des spectres de type B-normal, Be, Be-shell. Comme dans le modèle de Struve ces phases sont dues à un effet d'angle selon lequel on voit le disque circumstellaire, il est difficile d'imaginer que les transitions des phases dans une même étoile, puissent être expliquées par des changements, plus ou moins chaotiques, de l'orientation du disque par rapport à l'observateur.