

LE SPECTRE DE L'ÉTOILE SUPERGÉANTE ι PUPPIS DE CLASSE cA2ep

P. SWINGS

McDonald Observatory, Fort Davis, Texas (U. S. A.)
et Institut d'Astrophysique, Liège (Belgique).

ABSTRACT. — *The supergiant star ι Puppis of class cA2ep shows the emission lines λ 6 300, λ 6 364 and $H\alpha$. A table of absorption lines covering the spectral range λ 3 300 — λ 6 563 has been prepared on the basis of spectrograms obtained at the McDonald Observatory. The intensities of the lines of various elements present in ι Pup have been compared with the intensities in two other supergiants (α Cygni and ϵ Aurigae) and in three shell stars (Pleione, 14 Comae and 17 Leporis). The absorption lines of Fe II seem to exhibit the enhancement of the sextets relative to the quartets which is well marked in various P Cygni stars. With the dispersion used no variation in radial velocity with element, excitation potential or spectroscopic designation is apparent.*

ι Puppis [1] est une étoile brillante incluse dans la liste d'étoiles supergéantes de classes B et A établie par P. W. MERRILL [2]. Dans le Henry Draper Catalogue, le spectre de ι Puppis est rapproché de celui de α Cygni, à cause de la finesse des raies. En se basant sur 90 spectrogrammes obtenus à divers Observatoires, F. J. NEUBAUER [3] trouve que l'étoile a une période de 137,6 jours ($K = 7,4$ km/sec ; $\gamma = 23,7$ km/sec). Sur des clichés des 7 et 8 novembre 1933, MERRILL [4] observe que $H\alpha$ est une intense raie brillante double ; de plus, les raies rouges de [O I] λ 6 300 et λ 6 364 sont présentes en émission ; de faibles raies d'émission, peut-être dues à Fe II, sont suspectées à λ 6 432 et λ 6 516. MERRILL insiste sur la ressemblance du spectre de ι Puppis avec celui de α Cygni (cA2e α). Dans la suite, MERRILL et BURWELL [5] ont introduit cette étoile c dans le catalogue d'étoiles Be, sous le numéro MWC 570. Les raies interstellaires sont assez fortes ; les intensités de D_2 , D_1 , λ 5 780 et λ 6 284 ont été données par MERRILL, SANFORD, O. C. WILSON et BURWELL [6]. En 1947, HILTNER [7] observe le triplet infrarouge ($3^2D - 4^2P^0$) de Ca II ($\lambda\lambda$ 8 498, 8 542, 8 662) en émission.

Les atmosphères des étoiles supergéantes chaudes présentent un grand intérêt non seulement, en elles-mêmes, mais encore parce qu'elles constituent des transitions entre les atmosphères d'étoiles normales et celles des étoiles anormales entourées d'enveloppes étendues. D'ailleurs, la présence des raies d'émission d'hydrogène, de [O I] et de Ca II dans ι Puppis indique que l'atmosphère de cette supergéante possède certaines caractéristiques des étoiles Ae.

PANNEKOEK [8] a, le premier, montré que les profils des raies de Balmer des

supergéantes impliquent des valeurs de la gravité effective beaucoup plus faibles que celles qui sont déduites des masses et rayons. Ceci conduit à penser que les couches renversantes des supergéantes sont, en majeure partie, supportées par la pression de radiation. Une faible modification des conditions physiques peut alors conduire à une atmosphère en expansion, telle qu'on observe dans les étoiles du type P Cygni ou les novae. Ces vues ont été récemment développées par C. S. BEALS [9], O. STRUVE [10] et G. A. SHAJN [11].

Une section du mémoire de SHAJN est consacrée à la comparaison détaillée des spectres de supergéantes et d'étoiles de la séquence principale. C'est ainsi que α Cygni (cA2) est comparée à ϵ Serpentis (dA2). Les différences d'intensités présentées par de nombreux atomes neutres et ionisés impliquent une gravité effective de α Cygni du même ordre que celle que PANNEKOEK et SHAJN déduisent des profils des raies de Balmer. Comme la pression de radiation (générale et monochromatique) intervient pour supporter les couches absorbantes, SHAJN suggère que ces couches pourraient avoir une tendance à l'expansion ; il serait de même possible que l'expansion ne soit pas la même pour tous les éléments.

En vue de la comparaison de nombreux astres B et A anormaux, il nous a paru utile d'établir la liste des raies présentes dans une étoile supergéante A autre que α Cygni [12]. Notre choix s'est porté sur ι Puppis étant donné la présence de raies d'émission dans cet astre. Douze clichés CQ et CG obtenus en 1946 et 1949 (deux le 27 octobre 1947, un le 1^{er} novembre 1947, neuf du 16 au 20 avril 1949) — (notation habituelle de l'Observatoire McDonald) couvrent la région λ 3 300- λ 6 563. Nos spectres indiquent la présence d'une raie brillante H_α très intense et de faibles raies rouges [O I] ; H_β est une pure raie d'absorption. La table I donne les raies mesurées et leur identification. Les notations habituelles ont été suivies. Une identification placée entre parenthèses correspond à un cas douteux ou à une contribution peu importante.

Les commentaires succincts suivants peuvent être faits au sujet des divers atomes observés. Les spectres de comparaison sont ceux des atmosphères étendues de α Cygni [12], 14 Comae [13], Pleione [14], ϵ Aurigae [13] et 17 Leporis [15].

Une discussion plus détaillée des intensités est postposée jusqu'à ce que l'étude de la région $\lambda < 3 300$ soit effectuée. Dans ce qui suit, les effets de turbulence sur les courbes de croissance des différents astres ne sont pas pris en considération.

H. — La série de Balmer peut être mesurée jusqu'à H_{27} ; elle s'étend donc à peu près aussi loin que dans Pleione 1942-43 (H_{31}), ϵ Aur. (H_{31}) et α Cyg. (H_{30}). Dans 14 Comae, l'enveloppe ne montre pas les raies de Balmer de rang élevé ; la dernière raie observée H_{18} appartient à l'étoile A5 sous-jacente. Le continuum de Balmer est intense dans ι Pup. ; les intensités des raies d'absorption au voisinage de la limite



TABLE I

Spectre de ι Puppis

LONGUEUR D'ONDE	INTENSITÉ	IDENTIFICATION
3 301.91	2	Fe II 02.86 (4), Cr II 01.21 (18), Na I 02.34 (8), Na I 02.94 (8).
3 307.18	1	Cr II 07.04 (50), Cr II 06.95 (50).
3 308.99	1	Ti II 08.81 (8).
3 311.44	1	Cr II 10.65 (35), Cr II 11.93 (40), Cr II 12.18 (40).
3.314 15	0	Fe II 14.00 (1), Cr II 14.57 (35), Cr II 14.06 (18).
3 315.69	0	Ti II 15.32 (10), Cr II 15.29 (12).
3 317.99	1	Ti II 18.03 (10).
3 321.91	1	Ti II 21.70 (25).
3 322.88	3	Fe II 23.07 (8), Ti II 22.94 (75), Cr II 22.69 (12).
3 324.43	2	Cr II 24.35 (50), Cr II 24.06 (25), Cr II 24.10 (20).
3 328.18	0	Cr II 28.35 (20).
3 329.29	4	Ti II 29.46 (70), Fe II 29.07 (2).
3 332.26	1	Ti II 32.11 (30), (Mg I 32.17 (15)).
3 333.33	0	(Si II 33.16 (2)).
3 335.27	3	Cr II 35.28 (40), Cr II 35.46 (30), Ti II 35.19 (40).
3 336.59	3	Cr II 36.33 (40), Mg I 36.69 (20).
3 337.90	0	Fe II 38.52 (3), V II 37.84 (200).
3 339.92	5n	Cr II 39.80 (50), Ti II 40.34 (35), (Si II 39.84 (3)).
3 342.36	5n	Cr II 42.51 (50), Ti II 41.875 (100).
3 344.14	0	Ti II 43.77 (10), Zr II 44.80 (15).
3 346.47	0	Ti II 46.72 (15), (Ca II 46.99 (10)).
3 347.96	1	Ce II 47.84 (40).

TABLE I (suite)

LONGUEUR D'ONDE	INTENSITÉ	IDENTIFICATION
3 349.37	9	Ti II 49.40 (125), Ti II 49.035 (75), (Cr II 49.34 (16)).
3 352.74	1nn	Cr II 53.12 (20), Ti II 52.07 (5), Sc II 53.73 (25).
3 358.54	4	Cr II 58.50 (75), Fe II 58.25 (3).
3 360.53	2	Cr II 60.29 (100), Fe II 60.10 (3).
3 361.38	3	Ti II 61.21 (125), Cr II 61.77 (30).
3 363.58	2n	Cr II 63.71 (12).
3 364.90	0	Fe II 65.41 (1).
3 368.03	5	Cr II 68.05 (150).
3 370.77	1	Fe I 70.79 (10), Co II 70.94 (50).
3 372.72	5	Ti II 72.80 (100).
3 375.96	0n	Cr II 76.27 (10), Cr II 76.72 (5), Zr II 74.71 (15), Ti II 74.35 (8).
3 378.44	1	Cr II 78.34 (25).
3 380.08	3	Cr II 79.82 (60), Cr II 79.37 (30), Ti II 80.28 (30).
3 382.71	3	Cr II 82.68 (60).
3 383.84	4	Ti II 83.76 (125);
3 385.12 *	1
3 387.17	3	Ti II 87.83 (50), Fe II 88.13 (2), Co II 87.72 (60), (Cr II 87.73 (5)).
3 391.42	2	Cr II 91.43 (35), Fe II 91.30 (1), Zr II 91.96 (100).
3 394.46	3	Cr II 94.32 (35), Ti II 94.57 (40).
3 397.98	0	Ni II 97.82 (1), Fe II 98.35 (4).
3 399.55	1	Cr II 99.54 (18).
3 402.35	1	Cr II 02.43 (25), Ti II 02.42 (8).
3 403.27	4	Cr II 03.32 (100)

TABLE I (*suite*)

LONGUEUR D'ONDE	INTENSITÉ	IDENTIFICATION
3 405.42	0n	(Zr II 04.84 (12)), (Ti II 04.97 (1)).
3 407.64	1	Ni II 07.30 (8), (Ti II 07.20 (3)).
3 408.70	6	Cr II 08.76 (150).
3 410.88	1
3 421.15	3	Cr II 21.20 (75).
3 422.69	5	Cr II 22.74 (125), (Ti II 22.66 (1)).
3 427.64	0	Cr II 28.94 (7), (Cr II 27.92 (1)), (Fe II 28.64 (pr)).
3 430.23	0	Cr II 30.42 (3), Zr II 30.53 (30).
3 433.37	4	Cr II 33.30 (75).
3 435.79	1	Fe II 36.11 (5).
3 441.93	6	Mn II 41.98 (100), (Fe II 42.24 (3)).
3 444.16	2	Ti II 44.31 (30), (Al I 43.65 (10)).
3 446.16	1	Co II 46.40 (100).
3 457.84	0n	Cr II 57.62 (25), V II 57.15 (300), Fe I 58.30 (4).
3 460.24	3	Mn II 60.31 (75).
3 461.31	2	Ti II 61.50 (125).
3 464.00	0	Mn II 64.04 (7), Fe II 63.97 (1), Fe II 64.50 (3).
3 465.43	1	Ti II 65.56 (3), (Ni II 65.62 (1)).
3 468.30	0	Fe II 68.68 (8).
3 473.94	4	Mn II 74.04 (50), Mn II 74.12 (40), Fe II 73.82 (2).
3 476.86	2	Ti II 77.18 (15).
3 478.65	0	(Fe II 78.55 (pr)), (V II 78.96 (6)), (Cr II 78.17 (3)).
3 480.32	0	Fe II 79.91 (2), Ti II 80.90 (0), Zr II 81.14 (35).
3 482.82	4	Mn II 82.90 (40).
3 486.56	0	V II 85.92 (250),

TABLE I (suite)

LONGUEUR D'ONDE	INTENSITÉ	IDENTIFICATION
3 488.30	3	Fe II 85.73 (1). Mn II 88.68 (40). Fe II 87.99 (3).
3 490.87	3	Ti II 91.05 (10). Fe I 90.57 (100).
3 493.35	3	Fe II 93.47 (10). V II 93.16 (150).
3 495.48	2	Mn II 95.83 (40). Fe II 95.62 (4). Cr II 95.56 (20).
3 497.37	1	Mn II 97.54 (25), Mn II 96.81 (20).
3 500.03	1n	Fe II 99.88 (4).
3 502.90	0	Fe II 03.47 (2). (Cr II 03.36 (3)).
3 504.82	2	Ti II 04.89 (80). V II 04.43 (400).
3 507.78	1	Fe II 07.39 (3), (Fe II 08.21 (1)). (Ti II 07.39 ()).
3 510.49	2	Ti II 10.84 (60).
3 513.95	2	Ni II 13.93 (8). Fe I 13.82 (30).
3 540.73	0	Fe I 41.08 (15). (V II 41.34 (50)).
3 568.05	0	Sc II 67.70 (20).
3 572.45	1	Sc II 72.52 (50).
3 576.63	1	Ni II 76.76 (3). Sc II 76.34 (35).
3 580.91	2	Fe I 81.19 (250). Sc II 80.93 (30).
3 583.56 (**)	0
3 585.21	3	Cr II 85.31 (60), Cr II 85.54 (40).
3 587.58	1	Al II 87.45 (8). Ti II 87.13 (12).
3 601.38	0	(Y II 00.74 (300)), (Y II 01.92 (100)).
3 603.69	2	Cr II 03.80 (40), Cr II 03.86 (20), Cr II 03.61 (20).
3 608.08	1	Fe I 08.86 (100). Cr II 08.66 (3).
3 613.87	1	Cr II 13.21 (20), Cr II 13.26 (15). Sc II 13.84 (70). (Fe II 14.87 (15)).
3 621.42	0	Fe II 21.27 (6).

TABLE I (*suite*)

LONGUEUR D'ONDE	INTENSITÉ	IDENTIFICATION
		V II 21.20 (150), Co II 21.22 (100).
3 624.81	2n	Fe II 24.89 (5), Fe II 24.69 (2), Ti II 24.83 (70).
3 631.49	2	Cr II 31.49 (50), Cr II 31.72 (90), Sc II 30.74 (50). Fe I 31.46 (125).
3 641.32	1	Ti II 41.33 (100).
3 657.06	1n	(Cr II 58.19 (20)).
3 665.92	1	H ₂₇ 66.10.
3 667.44	1	H ₂₆ 67.68.
3 669.60	2	H ₂₅ 69.47.
3 671.51	2	H ₂₄ 71.48.
3 673.69	3	H ₂₃ 73.76.
3 676.49	4	H ₂₂ 76.36.
3 678.06	2	Cr II 77.69 (40), Cr II 77.86 (50), Cr II 77.93 (30).
3 679.39	4	H ₂₁ 79.35.
3 682.93	6	H ₂₀ 82.81.
3 685.30	4	Ti II 85.19 (250).
3 687.05	6	H ₁₉ 86.83.
3 691.43	10	H ₁₈ 91.56 (2).
3 697.08	10	H ₁₇ 97.15 (3).
3 703.57	10	H ₁₆ 03.86 (4).
3 705.63	3	Ti II 06.23 (20), Fe I 05.57 (100), Ca II 06.03 (10).
3 712.02	15	H ₁₅ 11.98 (5).
3 714.78	5	Cr II 15.19 (20), Cr II 15.45 (20), V II 15.48 (1 200).
3 722.02	20	H ₁₄ 21.95 (6).
3 724.65	0	Fe II 25.30 (3), Cr II 23.40 (15), (Ti II 23.63 (tr)), (Ti II 24.11 (1)).
3 727.56	3	Cr II 27.37 (40), V II 27.35 (1 000).
3 730.26	1	(Zr II 30.26 (35)).
3 734.33	20	H ₁₃ 34.37 (8).
3 737.09	4	Fe I 37.13 (150), Cr II 37.55 (10), Ca II 36.90 (12).
3 741.56	3	Ti II 41.63 (50).

TABLE I (suite)

LONGUEUR D'ONDE	INTENSITÉ	IDENTIFICATION
3 743.73	1	Fe I 43.36 (20), (V II 43.61 (40)).
3 746.11	2n	V II 45.81 (800), Fe I 45.56 (100), (Zr II 45.97 (40)).
3 748.65	3	Fe II 48.49 (8), Cr II 48.68 (5), Fe I 48.26 (60).
3 750.07	20	H ₁₂ 50.15 (10).
3 754.72	1n	Cr II 54.59 (20), Fe II 55.56 (4), Fe I 53.61 (8).
3 758.27	2	Ti II 57.68 (30), Fe I 58.23 (150), Ca II 58.36 (8).
3 759.45	8	Ti II 59.29 (200), Fe II 59.46 (6).
3 761.47	7	Ti II 61.32 (200), (Ti II 61.87 (15)), Cr II 61.90 (8), Cr II 61.69 (7).
3 763.79	2	Fe I 63.79 (100), Fe II 64.09 (pr).
3 770.27	20	H ₁₁ 70.63 (15)
3 775.86	1n	Ti II 76.06 (6).
3 778.88	1	Cr II 78.69 (6), V II 78.36 (100), Fe I 79.44 (3).
3 783.61	2	Fe II 83.35 (4).
3 787.12	1	V II 87.23 (150), Fe I 87.88 (50).
3 797.87	20	H ₁₀ 97.91 (20).
3 813.99	3n	Cr II 14.00 (12), Fe II 14.12 (4), Ti II 14.58 (4), Ti II 13.39 (2), Fe I 12.96 (40).
3 820.75	2n	Fe I 20.43 (250).
3 825.00	2	Fe II 24.91 (4) (Fe I 24.44 (50).
3 827.28	1	Fe II 27.08 (4), Fe I 27.82 (75).
3 829.92	1	Mg I 29.35 (40).
3 832.47	1	Mg I 32.30 (80),

TABLE I (suite)

LONGUEUR D'ONDE	INTENSITÉ	IDENTIFICATION
		Fe II 32.96 (2?).
3 835.31	20	H _γ 35.40 (40).
3 838.01	2	Mg I 38.29 (100), Fe II 38.04 (23).
3 840.97	1	Fe I 40.44 (80), Fe I 41.05 (80).
3 845.50	1	Fe II 45.18 (pr).
3 849.51	1n	Fe I 49.97 (40), Ni II 49.58 (2).
3 853.87	2	Si II 53.67 (3).
3 856.21	4	Si II 56.03 (8).
3 860.21	2	Fe I 59.91 (300).
3 862.63	3	Si II 62.59 (6).
3 865.87	0	Cr II 65.59 (75), Cr II 66.01 (5), Cr II 66.54 (7), Fe I 65.53 (30).
3 872.76	1	Fe I 72.50 (60), (Fe II 72.76 (pr)).
3 877.90	1	Fe I 78.02 (60), Fe I, 78.57 (100), V II 78.71 (300).
3 882.84	1	Ni II 81.92 (1), Mn II 83.28 (3).
3 889.19	20	H _δ 89.05 (60).
3 892.83	1	(Cr II 92.14 (2)), (Cr II 93.31 (1)), (S II 92.32 (35)).
3 895.21	1n	Fe I 95.66 (25), (V II 96.16 (60)).
3 898.23	1	Fe I 97.89 (8), Fe I 98.01 (10).
3 900.44	2	Ti II 00.54 (70), (Al II 00.68 (200)).
3 905.87	1	Fe II 06.04 (5), Cr II 05.64 (25), Si I 05.53 (100), Fe I 06.48 (8).
3 913.55	1n	Ti II 13.46 (60), (Fe I 13.63 (4)).
3 922.51	1	Fe I 22.91 (25).
3 927.85	1	Fe I 27.92 (30).
3 930.16	1	Fe I 30.30 (25).
3 933.55	10	Ca II 33.67 (600).
3 938.26	1n	Fe II 38.29 (2), Fe II 38.97 (4).
3 944.23	0n	Mn II 43.82 (1). (Al I 44.01 (10)),

TABLE I (suite)

LONGUEUR D'ONDE	INTENSITÉ	IDENTIFICATION
		(Cr II 45.11 (1)), (Fe II 45.21 (pr)).
3 952.11	0	V II 51.97 (500).
3 956.48	1	Fe I 56.68 (12), Fe I 56.46 (9).
3 961.78	1n	Al I 61.52 (10), (Fe II 60.89 (3)), (Mo II 61.50 (15)).
3 966.75	0	Fe II 66.43 (pr), Fe I 66.07 (10).
3 968.36	9	Ca II 68.47 (500).
3 970.10	20	H ϵ 70.07 (80).
3 973.90	0	Fe II 74.16 (3), V II 73.64 (300).
3 982.06	1	Fe I 81.77 (7), (Fe II 81.61 (pr)), (Y II 82.59 (150)).
3 987.63 ***	0
3 994.72	1
3 997.32	1	V II 97.13 (200), Fe I 97.39 (15).
4 002.31	2	Fe II 02.55 (3), Fe II 02.07 (2), Cr II 02.48 (5), Cr II 03.33 (25), V II 02.94 (80).
4 005.55	3	V II 05.71 (800), Fe I 05.25 (25).
4 009.20	1n	(He I 09.27 (10)).
4 012.32	3	Cr II 12.50 (30), Fe II 12.47 (1), Ti II 12.39 (50).
4 016.01	1	Ni II 16.50 (1).
4 024.72	2	Fe II 24.55 (5), Fe I 24.74 (6), Ti II 25.14 (2).
4 028.22	2	Ti II 28.33 (7).
4 030.79	0	Fe I 30.499 (6), Mn I 30.75 (200).
4 032.76	1	Fe II 32.95 (3), Mn I 33.07 (150).
4 035.34	0	V II 35.63 (400).
4 045.74	2	Fe I 45.81 (60), (Zr II 45.63 (15)).

TABLE I (*suite*)

LONGUEUR D'ONDE	INTENSITÉ	IDENTIFICATION
4 049.12	1	Fe II 48.83 (3), Cr II 49.14 (18).
4 051.73	1	Cr II 51.97 (12).
4 053.82	2	Ti II 53.84 (25), Cr II 54.11 (8).
4 057.53	0	Fe II 57.46 (2).
4 062.11	0	Fe II 61.79 (1).
4 063.63	3	Fe I 63.60 (45), (Cr II 63.94 (pr)).
4 066.93	1	Ni II 67.05 (3), (Fe I 66.98 (6)).
4 072.04	1	Fe I 71.74 (40), Cr II 72.56 (4).
4 077.49	2n	Sr II 77.71 (500), Fe II 77.16 (5).
4 101.67	20	H ₈ 01.74 (100).
4 110.56	1n	Cr II 11.01 (18).
4 116.91	0	(Cr II 16.66 (2)).
4 119.46	1	Fe II 19.53 (pr).
4 122.72	2	Fe II 22.64 (4).
4 124.99	0	Fe II 24.79 (1).
4 128.40	4	Si II 28.05 (8), Fe II 28.73 (3).
4 130.86	3	Si II 30.88 (10).
4 132.30	0	Mn II 32.28 (1), Cr II 32.41 (7), Fe I 32.06 (25).
4 134.25	1	Fe I 34.68 (12).
4 136.42	1	Mn II 36.91 (2), Fe I 37.00 (7).
4 138.41	1	Fe II 38.40 (pr).
4 143.84	0	Fe I 43.87 (30), Fe I 43.42 (15).
4 156.48	0n	(Zr II 56.24 (15)).
4 161.28	1	Ti II 61.52 (1), Cr II 61.05 (2), Zr II 61.20 (20).
4 163.73	3	Ti II 63.64 (40).
4 172.04	2	Ti II 71.90 (30), (Cr II 71.92 (3)).
4 173.56	4	Fe II 73.45 (8), Ti II 73.54 (1).

TABLE I (*suite*)

LONGUEUR D'ONDE	INTENSITÉ	IDENTIFICATION
4 177.70	2	Fe I 77.60 (4), Fe II 77.70 (pr), (Y II 77.54 (125)).
4 179.15	4	Fe II 78.85 (8), (Cr II 79.43 (12)).
4 181.35	0	Fe I 81.76 (15), (Cr II 81.50 (1)).
4 198.73	0	Fe I 98.31 (20), Fe I 99.10 (20), (Si II 98.25 (3)).
4 202.82	0	(Fe I 02.03 (30)), (V II 02.35 (150)).
4 215.63	2	Sr II 15.52 (400).
4 222.07	0	Fe I 22.22 (12), (Cr II 22.00 (1)).
4 224.58	1	Cr II 24.85 (20).
4 228.29	0	(Fe I 27.42 (Fe)).
4 230.51	1	(S II 30.98 (35)).
4 233.26	10	Fe II 33.17 (11).
4 236.32	0	Fe I 35.94 (25).
4 242.60	3	Cr II 42.38 (30).
4 246.89	2	Sc II 46.83 (500).
4 257.88	1n	Fe II 58.15 (3).
4 262.23	0	Cr II 61.92 (20).
4 271.86	1	Fe I 71.76 (35).
4 273.31	0	Fe II 73.32 (3).
4 275.71	1	Cr II 75.57 (30), (La II 75.66 (100)).
4 278.20	1	Fe II 78.13 (1), Cr II 78.10 (1).
4 282.30	0	Fe I 82.41 (12), Mn II 82.50 (3).
4 287.80	1	Ti II 87.89 (2).
4 290.16	3	Ti II 90.22 (50), (Cr I 89.72 (700)).
4 294.11	4	Ti II 94.10 (40), Fe I 94.13 (15).
4 296.60	3	Fe II 96.57 (6).
4 300.10	4	Ti II 00.05 (60).
4 301.80	1	Ti II 01.93 (15).
4 303.12	3	Fe II 03.17 (8).
4 307.69	2	Ti II 07.91 (40).

TABLE I (*suite*)

LONGUEUR D'ONDE	INTENSITÉ	IDENTIFICATION
		Fe I 07.91 (35), (Al II 07.16 (20)).
4 309.52	0	Fe I 09.38 (4), (Cr II 08.82 (2)).
4 312.77	2	Ti II 12.86 (35), (Fe II 13.03 (1)).
4 314.56	2	Fe II 14.29 (4), Ti II 14.98 (40), Fe I 15.09 (10), Sc II 14.08 (150).
4 317.21	0	Ti II 16.807 (1),
4 321.23	1	Ti II 20.96 (1), Sc II 20.75 (40).
4 325.63	2n	Fe I 25.76 (35), (Sc II 25.01 (40)).
4 330.71	0n	Ti II 30.26 (0), Ti II 30.71 (0).
4 340.40	15	H _γ 40.47 (200).
4 344.26	0	Ti II 44.29 (2), (Mn II 43.99 (2)), (Cr I 44.51 (100)).
4 351.86	5	Fe II 51.76 (9), (Mg I 51.91 (30)).
4 354.41	0	Fe II 54.36 (2), (Sc II 54.61 (10)).
4 357.45	0	Fe II 57.57 (4).
4 361.45	1	Fe II 61.25 (2), Ni II 62.10 (1).
4 374.86	2n	Ti II 74.82 (1), Sc II 74.45 (25), Y II 74.95 (300).
4 379.80	0	Mn II 79.74 (1).
4 384.89	3n	Fe II 85.38 (7), Fe I 83.55 (45), (Mg II 84.64 (8)).
4 391.17	1	(Mg II 90.58 (10)), (S II 91.84 (30)).
4 395.23	3	Ti II 95.03 (60).
4 399.84	2	Ti II 99.77 (35).
4 404.88	2	Fe I 04.75 (30).
4 411.55	1	Ti II 11.08 (15).
4 417.54	3	Ti II 17.72 (40).

TABLE I (suite)

LONGUEUR D'ONDE	INTENSITÉ	IDENTIFICATION
		Fe II 16.82 (7).
4 444.42	2	Ti II 43.80 (50).
4 450.93	1	Ti II 50.49 (10), Fe II 51.54 (4).
4 455.76	0	Fe II 55.26 (3).
4 461.79	0	Fe I 61.65 (8).
4 464.96	1n	Ti II 64.46 (1).
4 468.53	3	Ti II 68.49 (50).
4 471.51	1	He I 71.48 (100), Ti II 70.86 (tr), Fe II 72.92 (2),
4 481.22	7	Mg II 81.33 (100).
4 488.97	1	Fe II 89.18 (4), Ti II 88.32 (15).
4 491.52	2	Fe II 91.40 (5).
4 501.23	2	Ti II 01.27 (40).
4 508.23	4	Fe II 08.28 (8).
4 515.23	3	Fe II 15.34 (7).
4 519.96	3	Fe II 20.22 (7).
4 522.58	3	Fe II 22.63 (9).
4 525.47	0	Ti II 24.73 (1 ?), Fe I 25.15 (?), S II 24.95 (150).
4 529.11	1	Fe I 28.62 (18), Ti II 29.46 (1), V II 28.51 (300).
4 533.87	3	Ti II 33.97 (30), Fe II 34.17 (2), (Mg II 34.26 (4)).
4 536.64 ⁽⁸⁾	1
4 541.32	1	Fe II 41.52 (4).
4 545.22	0	(Ti II 45.14 (tr)).
4 549.35	6	Fe II 49.47 (10), Fe II 49.21 (4), Ti II 49.62 (60).
4 555.43	3	Fe II 55.89 (8), Cr II 55.02 (20).
4 558.80	3	Cr II 58.66 (100), (La II 58.47 (200)).
4 563.78	2	Ti II 63.76 (30), (V II 64.59 (200)).
4 571.93	3	Ti II 71.97 (50),

TABLE I (*suite*)

LONGUEUR D'ONDE	INTENSITÉ	IDENTIFICATION
		Mg I 71.10 (5).
4 576.41	2	Fe II 76.33 (4).
4 583.79	6	Fe II 83.83 (11).
4 588.15	3	Cr II 88.22 (75), (Al II 88.19 (30)).
4 620.18	1n	Fe II 20.51 (3).
4 628.95	3	Fe II 29.34 (7).
4 634.74	2	Fe II 35.33 (5), Cr II 34.11 (25).
4 641.70	1	(Fe II 40.84 (0)), (Al II 40.38 (18)), (Al II 40.36 (20)).
4 657.23	1	Fe II 56.97 (1), Ti II 57.21 (tr).
4 663.78	0	(Fe II 63.70 (0)), (Al II 63.05 (50)).
4 666.96	1	Fe II 66.75 (2).
4 731.29	1	Fe II 31.44 (3).
4 780.26	1	Ti II 79.99 (1), (Fe II 80.07 (pr)).
4 824.04	3	Cr II 24.13 (75).
4 848.30	1	Cr II 48.24 (60)
4 860.88	15	H β 61.33 (500).
4 923.92	4	Fe II 23.92 (12).
4 958.16	1	Fe I 57.60 (60).
4 977.01 ^(§)	1
5 018.60	7	Fe II 18.43 (12).
5 040.84	2n	Si II 41.13 (8).
5 056.32	3	Si II 56.17 (10).
5 169.19	8	Fe II 69.03 (12).
5 197.64	1	Fe II 97.57 (6).
5 228.09	1	(Fe I 27.19 (40)). (Fe II 27.0 (K15)) ^(§§)
5 235.38	0n	Fe II 34.62 (7).
5 261.60	0	(Fe II 60.33 (5)), (Ti II 62.10 (0)).
5 275.90	3	Fe II 75.99 (7).
5 316.91	2	Fe II 16.61 (8), Fe II 16.78 (4).
5 325.00	1n	Fe II 25.56 (2).
5 340.04	0n	(Fe II 00.07 (pr)).
5 402.66	1	Fe II 02.11 (2).

TABLE I (*suite et fin*)

LONGUEUR D'ONDE	INTENSITÉ	IDENTIFICATION
5 424.33	0	(Fe II 25.57 (2)).
5 812.36	0	(Fe II 13.67 (3)).
5 889.76 (++)	3	Na I 89.95 (10).
5 896.47 (++)	2	Na I 95.92 (9).
6 116.45	1	(Fe II 16.04 (pr)).
6 125.52	0	(Mn II 25.85 (25)).
6 157.55	2	OI 58.19 (18), OI 56.78 (17), OI 55.99 (16).
6 198.88	0nn	Fe II 99.16 (2).
	
6 318.26	1n	Fe (II ?) 7.40 (K3) (§§).
6 347.35	4	Si II 47.10 (10).
6 371.73	2	Si II 71.36 (8).
6 438.59 (§)	1n
6 455.97	0	Fe II 56.38 (3), OI 56.01 (17).
6 563.27	10 E(+)	H α 62.82 (2 000).

* Présent dans ϵ Aurigae.

** Présent dans α Cygni et α Lyrae.

*** Présent dans α Cygni.

§ Non observé dans α Cygni.

§§ La lettre K concerne les intensités extraites de la liste de raies du fer du domaine visible, établie par A. S. KING, *Ap. J.*, **87**, 109, 1938.

+ Raie d'émission.

++ Raies interstellaires, au moins en partie.

de Balmer sont fortement réduites, tout comme dans α Cygni, mais à l'opposé de ce qui se passe dans les enveloppes de Pleione ou de 14 Comae. H α est très intense en émission ; nos clichés laissent suspecter la présence d'une faible composante d'absorption de type P Cygni, mais ne permettent pas d'être absolument affirmatif à ce sujet.

He I. — Présence improbable.

Mg I. — Le multiplet 3 $^3P^0$ — 3 3D ($\lambda\lambda$ 3 829, 3 832, 3 838) est beaucoup plus faible que dans α Cyg., ϵ Aur., Pleione et 17 Lep. ; ce multiplet n'est pas signalé dans 14 Com.

Mg II. — λ 4 481 est une raie bien caractéristique, plus intense que dans ϵ Aur., 14 Com. ou Pleione ; il ne peut pas y avoir d'important effet de dilution dans les régions d'absorption de Mg II.

Si II. — Tous les multiplets typiques sont présents ; ils ne manifestent guère d'effet de dilution ; ils sont plus intenses que dans ϵ Aur ou 14 Com.

Ca II. — H et K sont intenses.

Sc II. — Plus faible que dans Pleione 1942-43 ; beaucoup plus faible que dans 14 Com. ou 17 Lep.

Ti II. — Un peu plus faible que dans Pleione ou α Cyg. La diminution d'intensité en fonction du potentiel d'excitation est sensiblement la même que dans α Cyg., mais est plus marquée que dans Pleione.

V II. — Plus faible que dans α Cygni.

Cr II. — Intensité analogue à celle dans Pleione. L'intensité varie en fonction du potentiel d'excitation comme dans α Cyg.

Mn II. — Plus intense que dans Pleione ; à peu près la même intensité que dans ϵ Aur et 14 Com (le multiplet caractéristique est $a^5D - z^5P^0$ de λ 3 441 à λ 3 488).

Fe I. — Toutes les raies de Fe I sont très faibles.

Fe II. — Un peu plus faible que dans Pleione, mais plus intense que dans 14 Com. Nous parlons plus loin de l'effet de multiplicité.

Ni II. — Beaucoup plus faible que dans Pleione ou α Cyg.

Sr II. — Intensité semblable à celle dans Pleione ou ϵ Aur, plus faible que dans 14 Com ou α Cyg.

Effet de multiplicité sur les raies d'absorption de Fe II. — Dans plusieurs étoiles de type P Cygni, il a été observé que les sextets ($a^6S - z^6P^0, z^6F^0$) montrent de fortes composantes d'absorption, tandis que les quartets ($b^4P - z^4P^0, z^4F^0 ; b^4F - z^4D^0, z^4F^0$ et $a^4G - z^4F^0$) ne manifestent que des raies d'émission [16]. Dans *l* Pup, toutes les raies de Fe II observées sur nos spectrogrammes de 1947 et 1949 apparaissent en absorption. La comparaison de *l* Pup et α Cyg semble toutefois manifester, dans *l* Pup, une intensification des sextets relativement aux quartets, comme le montre la table II où nous comparons les multiplets voisins $a^6S - z^6P^0$ et $a^4G - z^4F^0$, dont les potentiels d'excitation du niveau inférieur (P. E.) sont très proches. La différence

TABLE II

Raies de Fe II dans la région λ 5 018- λ 5 317

$a^6S-z^6P^0$		$a^4G-z^4F^0$		P. E.	INTENSITÉS	
λ	I(lab)	λ	I(lab)		α Cygni	<i>l</i> Puppis
—	—	—	—	—	—	—
5 018.43	12			2.88	10	7
5 169.03	12			2.88	8	8
		5 197.57	6	3.14	7	1
		5 234.62	7	»	7	0
		5 275.99	7	»	6	3
		5 316.61	8	»	8 bl	2 bl

d'énergie 0.26 ν . ne peut guère affecter de façon appréciable, les intensités relatives dans α Cyg et ι Pup, comme il apparaît en examinant des raies de plus faible P. E.

ι Pup serait, en quelque sorte, plus proche des étoiles du type P Cygni qu' α Cyg. Ceci est en accord avec l'intensité plus grande de H α et la présence de [O I] et de Ca II en émission dans ι Pup. Il serait utile de continuer plus soigneusement l'étude des raies de Fe II dans ι Pup. A cet effet, des spectrogrammes couvrant la région de longueur d'onde inférieure à λ 3 300 ont été obtenus en 1949 ; leur étude est en cours. L'effet de multiplicité — sans doute dû à la fluorescence — si caractéristique dans certaines étoiles de type P Cygni semble bien être déjà présent dans la supergéante ι Pup, mais guère dans α Cyg.

Vitesses radiales. — SHAJN a mentionné le fait que des atomes différents pourraient manifester des vitesses radiales différentes. Une dispersion supérieure à celle que nous avons employée est nécessaire pour manifester un tel effet éventuel. Nos résultats concernant les vitesses radiales sont les suivants :

(a) Au sein de la série de Balmer, nous n'observons aucun décalage progressif de la vitesse radiale.

(b) La vitesse radiale moyenne pour tous les éléments est, en 1947, $V_{\text{rad}} = 32.1$ km/sec. Les valeurs pour les différents éléments sont réunies dans la table III.

TABLE III

Vitesses radiales des différents éléments

ÉLÉMENT	NOMBRE DE RAIES	V_{rad}	REMARQUE
H	23	29.1	bonne
O I	1	29.8	incertaine
Na I	2	40.7	passable
Mg I	3	43.3	passable
Mg II	1	30.8	bonne
Al II	1	13.0	incertaine
Si I	1	57.6	incertaine
Si II	9	39.5	bonne
Ca II	2	23.1	bonne
Sc II	3	35.3	passable
Ti II	29	30.6	bonne
V II	3	23.9	passable
Cr II	23	34.1	bonne
Mn II	3	25.7	bonne
{ Fe II (quartets)	31	31.7	bonne
{ Fe II (sextets)	4	34.1	bonne
Ni II	3	39.3	passable

On constate que toutes les « bonnes » valeurs sont en excellent accord. Il ne serait toutefois pas impossible que la vitesse radiale de Ca II soit inférieure à celle de H, comme SHAJN le suspecte ; la théorie de Mc CREA [17] ne permettrait une telle différence que dans le cas d'une atmosphère très raréfiée (densité inférieure à 10^8 ou 10^9 particules par centimètre cube).

(c) Avec la dispersion employée, on ne constate aucun effet systématique du potentiel d'excitation ou de la désignation spectrale, sur la vitesse radiale. Ceci est illustré dans la table IV.

TABLE IV

Vitesses radiales obtenues à partir de raies de potentiels d'excitation différents

ÉLÉMENT	P. E. DU NIVEAU INFÉRIEUR	NOMBRE DE RAIES	V_{rad} MOYENNE
Si II	6.83	3	42.8
	8.09	2	36.8
	9.79 à 10.03	3	32.5
Ti II	0.0 à 0.15	8	24.6
	1.08 à 1.24	14	37.2
	1.57 à 2.59	6	27.0
Cr II	2.47	13	31.3
	3.09	1	40.0
	3.85 à 4.06	7	38.5
Fe II	2.57 (quartets)	8	37.3
	2.76 (quartets)	5	28.0
	2.88 (sextets)	4	34.1
	3.14	2	31.0
	4.60 à 4.71	2	45.5

Plus encore que α Cygni, l Puppis doit être considérée comme présentant une enveloppe. Il reste quelque doute au sujet de l'expansion de cette enveloppe, quoi qu'il paraisse fort probable que l'émission en H_α présente une composante violette d'absorption. L'enveloppe aurait, dans le domaine spectral d'observation, une épaisseur optique τ_1 très faible. Suivant la fort utile subdivision des atmosphères étendues, suggérée par STRUVE [18], on pourrait dire que, dans le cas de l Puppis.

(a) la « couche renversante » en rotation axiale rapide est invisible ;

(b) la « chromosphère » (enveloppe interne stationnaire) présente une grande opacité τ_1 ;

(c) la « couronne » (enveloppe externe en expansion) a une très faible opacité τ_1 . Au fait, l Puppis diffère essentiellement de α Cygni par une « couronne » plus intense.

Je tiens à remercier très vivement le Dr. O. STRUVE, non seulement pour l'intérêt

qu'il a bien voulu manifester à ce travail, mais encore pour son aide efficace en ce qui concerne l'obtention des spectrogrammes et leur mesure.

Manuscrit reçu le 23 janvier 1950.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] HD 62.623 ; MWC 570 ; α (1900) = $7^{\text{h}}39^{\text{m}}8$, (1900) = $-28^{\circ}43'$; $l = 212^{\circ}$, $b = -1^{\circ}$; $m = 4.1$.
- [2] *Ap. J.*, **81**, 351, 1935.
- [3] *Pub. A. S. P.*, **44**, 254, 1932.
- [5] *Pub. A. S. P.*, **46**, 156, 1934.
- [5] *Ap. J.*, **98**, 153, 1943.
- [6] *Ap. J.*, **86**, 274, 1937.
- [7] *Ap. J.*, **105**, 212, 1947.
- [8] *B. A. N.*, **8**, n° 301, 1937.
- [9] *Observatory*, **64**, 42, 1941 ; *J. R. A. S.*, Canada, **34**, 169, 1940.
- [10] *Ap. J.*, **95**, 134, 1942.
- [11] *Bulletin n° 7 de l'Observatoire Abastumani* (Mont Kanobili, Caucase). Pour une analyse de ce mémoire, voir O. STRUVE, *Ap. J.*, **100**, 388, 1944. Voir aussi : SHAJN, *Poulkovo Obs. Circ.* n°s 26-27, p. 5, 1939.
- [12] Pour les tables de raies de α Cygni, voir O. STRUVE et P. SWINGS, *Ap. J.*, **94**, 344, 1941 (région λ 3 862 — λ 6 587) ; O. STRUVE, *Ap. J.*, **90**, 699, 1939 (région ultraviolette) ; J. H. RUSH, *Ap. J.*, **95**, 213, 1942 (région λ 3 041 — λ 3 298).
- [13] P. SWINGS et O. STRUVE, *Ap. J.*, **94**, 291, 1941 ; 14 Comae est une étoile A5n de luminosité moyenne, entourée d'une enveloppe dont le spectre simule à peu près la classe F2 (enveloppe de type spectral le plus avancé) ; ϵ Aurigae est une supergéante F2.
- [14] O. STRUVE et P. SWINGS, *Ap. J.*, **97**, 426, 1944.
- [15] O. STRUVE, *Ap. J.*, **76**, 85, 1932 ; O. STRUVE et F. E. ROACH, *Ap. J.*, **90**, 727, 1939.
- [16] P. SWINGS et O. STRUVE, *Ap. J.*, **96**, 254, 1942.
- [17] *M. N.*, **95**, 509, 1935.
- [18] *Ap. J.*, **95**, 134, 1942.

