

LES ÉTOILES SUPERGÉANTES DANS LE GRAND NUAGE DE MAGELLAN.
LA SIGNIFICATION DES CLASSES DE LUMINOSITÉ I.

Ch. Fehrenbach

Observatoire de Haute Provence

ABSTRACT

Les classes de luminosité de Keenan et Morgan sont une subdivision très commode pour caractériser les étoiles d'une même classe spectrale. Les classes V et III paraissent bien définir un type d'étoiles; leurs paramètres principaux (M_p et T_e ou p_e et T_e) sont déterminés par le type spectral et la classe de luminosité. Les classes IV et II sont mal définies, leur existence n'est pas assurée. L'ensemble des étoiles supergéantes est encore plus mal défini, elles remplissent complètement la partie supérieure de diagramme de Russell-Hertzsprung. Une étude de ce diagramme pour les étoiles supergéantes du Grand Nuage de Magellan montre que les subdivisions Ia0, Ia, Iab et Ib correspondent à une variation continue de la magnitude absolue qui va par exemple des étoiles A0 de -9.6 à -5. La valeur souvent admise -7 pour la magnitude absolue des supergéantes est une simplification abusive. D'autre part, la classification exacte des luminosités est difficile et une mesure d'une quantité physique (rapport d'intensité de raies, ou intensité de raies) devrait permettre une meilleure classification de ces étoiles.

MK luminosity classes are a very useful subdivision for characterizing stars of the same spectral class. The classes V and III appear to define very well a stellar type with respect to the main astrophysical parameters, while types IV and II do this less well. The ensemble of supergiant stars is still poorly defined. A study of the LMC supergiants shows that the subdivisions Ia0, Ia, Iab and Ib correspond to a continuous variation of absolute magnitudes which range for A 0 stars from -9 to -5. Exact classification of luminosities is difficult. Measures of a physical quantity such as the ratio of the intensities of lines should permit a better classification of these stars.

1. CLASSES DE LUMINOSITE

L'introduction par W. W. Morgan et P. C. Keenan (1943) des classes de luminosité a été une amélioration considérable de la classification spectrale pour les étoiles de la série principale et des géantes, car ces deux classes V et III correspondent à des étoiles qui peuvent être caractérisées par deux paramètres: spectre et classe de luminosité pour l'observation, T et p pour la théorie. (Johnson and Morgan 1953). Ce fait est matérialisé par la concentration des étoiles de ces classes en deux lignes dans le diagramme R et H. Les relations dans chaque classe entre les magnitudes absolues, les couleurs et le spectre, sont univoques.

La situation est bien moins nette pour les classes IV et II et l'existence même de classe IV est quelquefois mise en doute.

Je désire discuter ici le cas des supergéantes pour les quelles le problème est particulièrement difficile, car la connaissance des distances de ces étoiles galactiques lointaines est très difficile et l'éparpillement des étoiles dans la partie supérieure du diagramme était souvent interprétée comme étant due à la mauvaise connaissance des magnitudes absolues. Mais on s'est ensuite rendu compte qu'il fallait subdiviser la classe I en sous classe de luminosité Ib, Iab, Ia, Ia0 par luminosités croissantes.

Il est évident que cette situation n'est pas satisfaisante. En fait, les étoiles supergéantes remplissent tout l'espace supérieure du diagramme RH sans qu'il soit possible d'y trouver des familles. Ceci est particulièrement net lorsqu'on a la possibilité de s'affranchir du problème des distances en faisant l'étude d'un système d'étoiles supergéantes faisant partie d'un système comme les Nuages de Magellan. On peut considérer que pour le GNM le diagramme est complet jusqu'à la magnitude photographique $m < 12.5$. Grâce à des recherches complémentaires faites par ^Ples astronomes de Marseille, Brunet et al. (1975), on peut considérer que pour $B-V < 0.3$, le diagramme est bien fourni jusqu'à $m_p < 13.8$.

Les diagrammes que nous présentons ici/ont été faits à partir des données du catalogue de J. Rosseau et al. (1978) qui est le résumé de toutes les publications faites jusqu'en 1976.

On constate sur ce graphique que les étoiles les plus

brillantes ont une magnitude bolométrique $M_B \sim -9.5$ qu'on connaît des étoiles rouges jusqu'à $M_B \sim -7.5$. Pour les étoiles bleues, l'observation a permis d'atteindre des étoiles $M_B \sim -5.5$.

Mais il est absolument impossible de tracer des lignes correspondant à des classes de luminosité Ia0, Ia, etc..

Il existe des étoiles partout pour $M_b < -9.5$ et ceci au moins jusqu'à $M_b \sim -5$, limite actuelle des observations.

Sur les graphiques, nous avons indiqué les étoiles qui ont été classées Ia0 par la plupart des auteurs, mais on constate que les magnitudes absolues peuvent varier énormément.

Ainsi les étoiles

		V	(B-V) ₀	(U-B) ₀	M _V
G 339	A2Ia0	10.73	0.10	-0.24	-8.0
G 437	A2I	11.70	0.01	-0.15	-7.1
G 200	A3Ia0	9.12	0.10	-0.30	-9.7

Ont des éclats qui diffèrent d'un facteur de 4,5 et on constate que leurs couleurs varient avec la magnitude absolue.

Cette variation apparaît aussi nettement sur le diagramme RH (Fig. 2) sur lequel nous avons tracé des droites qui limitent les diverses classes spectrales.

La pente de 4 droites $\Delta(B-V) / \Delta m = 0.07$ correspond à la valeur que j'ai publiée. (Fehrenbach, 1973).

Sur ce même graphique, nous avons reporté les étoiles du GNM qui, selon Sanduleak, sont des géantes de classe II, d'après ces spectres et qui selon nous (Fehrenbach and Duflot 1972) sont des membres du GNM et ont des magnitudes absolues de l'ordre de $M_V = -6.2$. (Fig. 3).

Le problème de la classification est compliqué par un fait qui paraît de plus en plus assuré. L'abondance des métaux dans les étoiles des deux Nuages de Magellan paraît légèrement plus faible que celle des étoiles galactiques. Lorsqu'on essaye de faire une classification précise des spectres des étoiles des deux Nuages, on a des difficultés: le problème a été abordé par Ch. Fehrenbach, C. et M. Jaschek (1977) pour le GNM (dispersion de 20 Å/mm) et notre conclusion a été que les étoiles A ont des

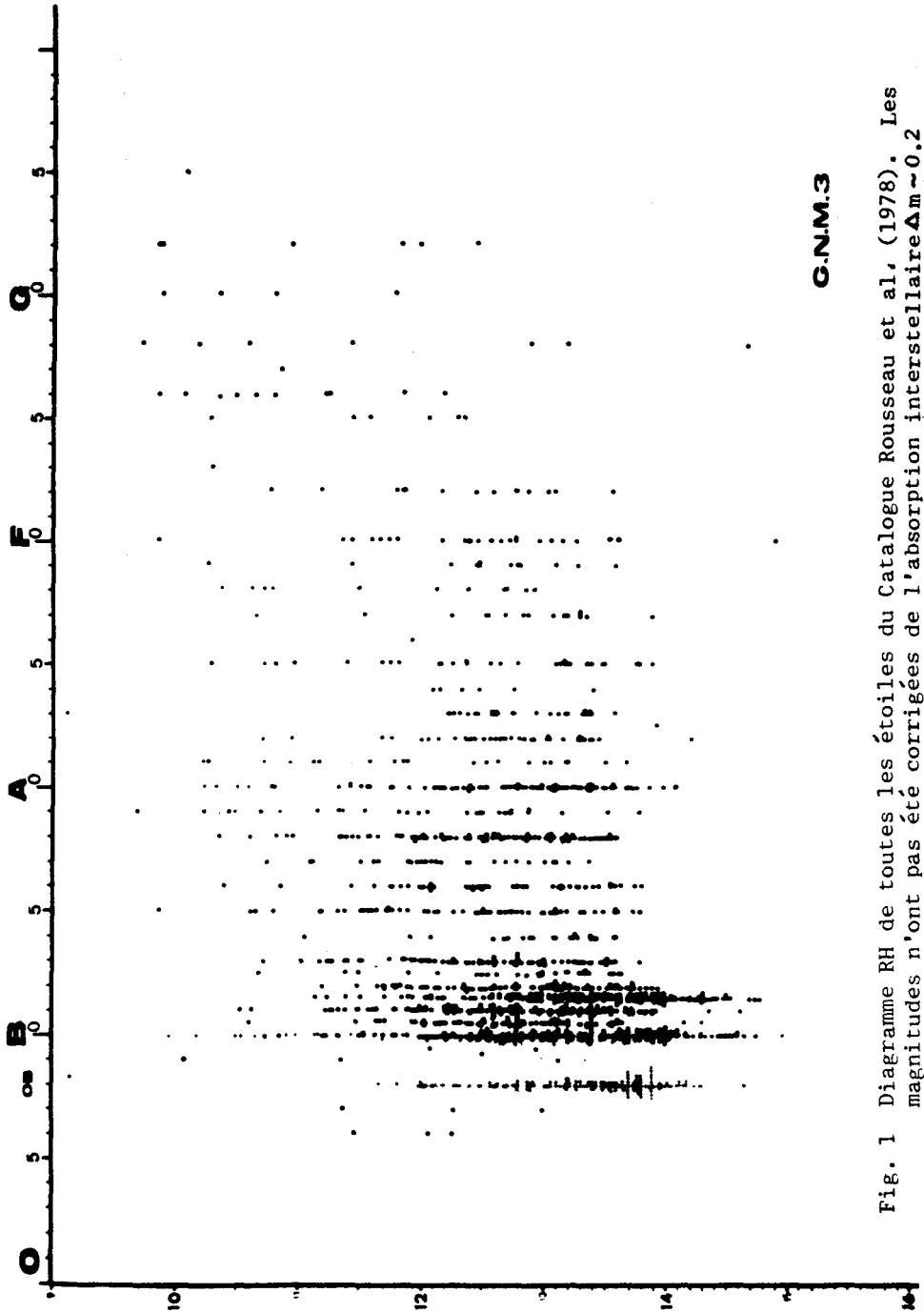


Fig. 1 Diagramme RH de toutes les étoiles du Catalogue Rousseau et al. (1978). Les magnitudes n'ont pas été corrigées de l'absorption interstellaire $\Delta m \sim 0.2$

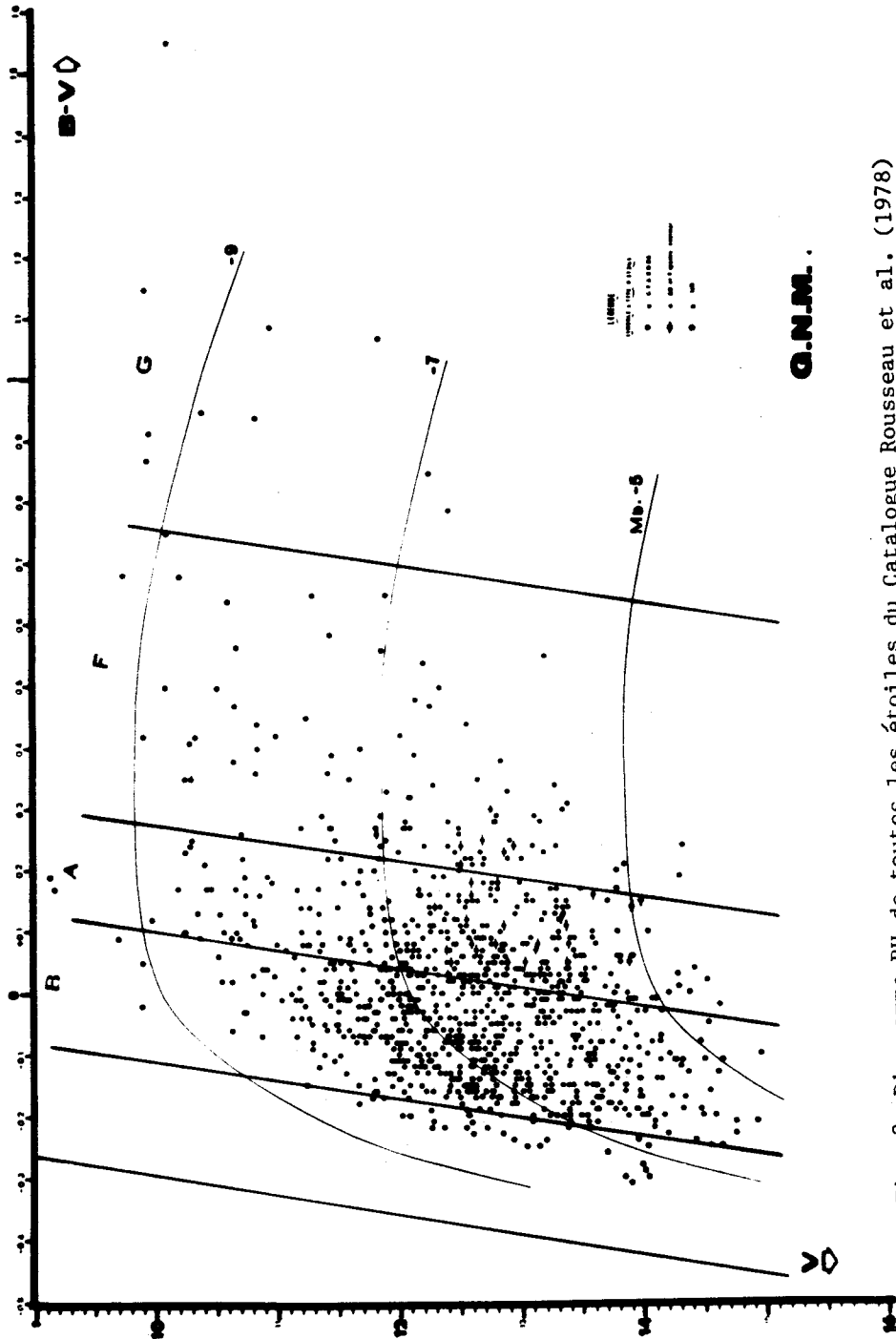


Fig. 2 Diagramme RH de toutes les étoiles du Catalogue Rousseau et al. (1978)
 Les magnitudes n'ont pas été corrigées de l'absorption interstellaire
 $\Delta_m \sim 0.2$ $\Delta(B - V) = 0.07$

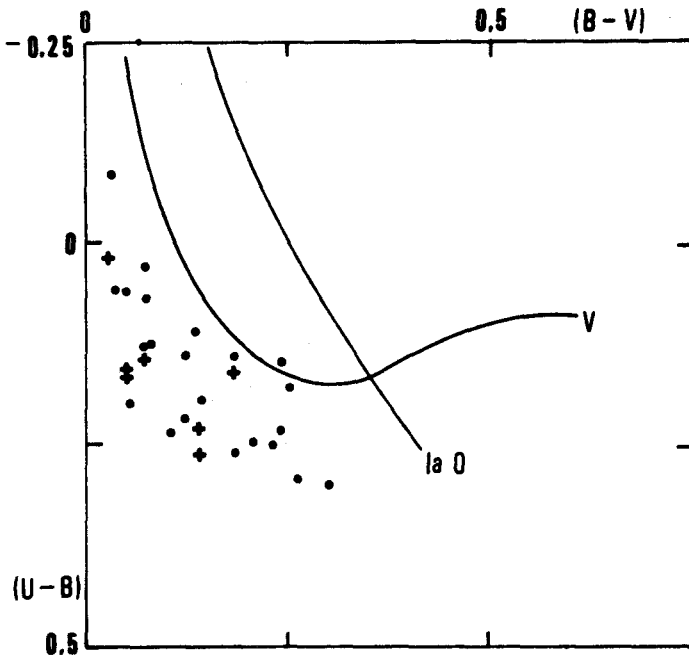


Fig. 3 Etoiles dites anormales à H intense, d'après Ch. Fehrenbach et M. Duflot (1972)

types spectraux sensiblement identiques si on les classe par l'intensité des raies de H ou de Ca II, mais un type moins avancé pour Si II et peut être Fe I. Fe II paraît normal. Nous avons conclu qu'une sous abondance des métaux n'était pas exclue.

Pour le PNM, P. Dubois et C. et M. Jaschek (1977) ont fait la même étude pour une trentaine d'étoiles, dispersion de 75 Å/mm. Ils montrent qu'il est impossible de définir le spectre de l'étoile par un seul type.

Ils trouvent que le type spectral

$$S(\text{CaII}) \geq S(\text{TiII}) > S(\text{FeII})$$

ce qui rapproche ces étoiles de celles du GNM.

Ces auteurs ont essayé de fixer la classe de luminosité par l'intensité des raies de l'hydrogène et ils montrent que la même classe de luminosité, par exemple Ia0, peut correspondre à des étoiles ayant des magnitudes différentes de 1.5. Ils ont aussi observé qu'il existe des étoiles ayant des profils des raies de Balmer très différents pour des étoiles de même magnitude, ce qui doit être rapproché de l'observation de Ch. Fehrenbach et M. Dufлот (1972).

Nous avons, par ailleurs, montré que le diagramme couleur-couleur des étoiles varie fortement avec la magnitude absolue dans le cas du GNM (Fehrenbach 1973). Le diagramme généralement admis pour les étoiles galactiques supergéantes qui résulte d'une moyenne de nombreuses étoiles correspond sensiblement à celui des étoiles de magnitude $M_V = -7$. Dans une publication, soumise actuellement à A. & A., P. Dubois (1978) confirme les variations de couleurs avec la magnitude absolue pour le PNM et il trouve ces variations très voisines de celle du GNM qu'il rediscute. Il établit un tableau de variations de (U-B) et (B-V) avec M_V . Ce tableau est en bon accord avec ceux publiés par Ch. Fehrenbach (1973) (Fig. 4) et J. P. Brunet (1975) (Fig. 5) il est étendu jusqu'aux magnitudes absolues $M = -5$.

P. Dubois (1978) a fait une étude analogue pour les supergéantes galactiques, pour déterminer les distances et les rougissemments. Il a choisi un certain nombre d'amas et d'associations. Mais il n'a pas trouvé avec $M_V < -7$. L'examen de ces graphiques montre que les relations sont nettement moins bien établies pour les étoiles galactiques que pour celles des Nuages. P. Dubois déduit néanmoins de son étude que les dia-

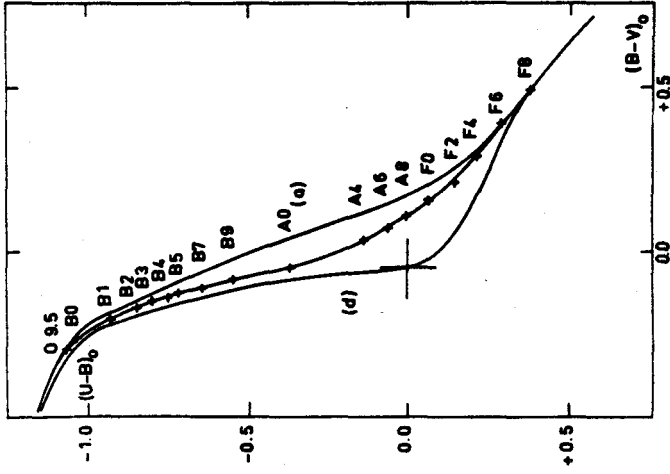


Fig. 5 Diagramme Couleur-Couleur des étoiles du GNM en fonction de la magnitude J. P. Brunet (1975) a $V < 11$ d. $V \geq 13$ + courbes des étoiles galactiques Ia

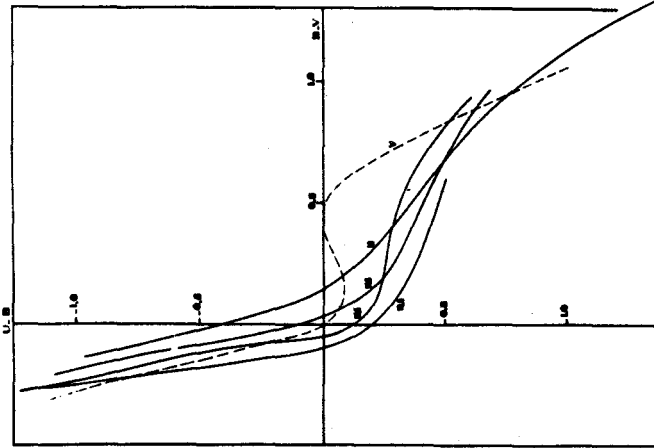


Fig. 4 Diagramme Couleur-Couleur des étoiles du GNM en fonction de la magnitude Ch. Fehrenbach (1973)

grammes sont différents de ceux des nuages et il indique qu'à couleurs égales, les étoiles des Nuages ont une magnitude absolue plus petite de 1 à 1.5, c'est-à-dire qu'elles seraient environ 4 fois plus lumineuses. (Fig. 6). Il suggère que la plus faible abondance des métaux dans les Nuages expliquerait cette différence d'éclat absolue. Rappelons la difficulté de donner des types spectraux uniques aux étoiles des deux Nuages. Ces résultats doivent être confirmés car les magnitudes absolues et les couleurs des étoiles galactiques sont encore imprécises à mon avis.

On constate que des problèmes nombreux restent à résoudre; je pense que la détection des étoiles supergéantes peut être faite à l'aide des critères MK mais la détermination des caractères physiques ne peut être obtenue que par des études quantitatives précises à l'aide de spectres de bonnes résolutions ($R \sim 5\,000$ à $10\,000$).

Bibliographie

- Brunet J. P., (1975) Astron. Astrophys. 43, 345.
- Brunet, J.P, Imbert, M., Martin, N., Mianes, P., Prevot, L., Rebeirot, E., Rousseau, J. (1975). Astron. Astrophys. Suppl. 21, 109
- Dubois, P. (1978) High Luminous Stars, soumis à Astron. Astrophys.
- Dubois P., Jaschek M. and Jaschek C. (1977) Astron. Astrophys. 60, 205.
- Fehrenbach Ch. (1973) IAU Symposium 50, p. 21.
- Fehrenbach Ch. et Duflot M. (1972) Astron. Astrophys. 21, 321
- Fehrenbach, Ch., Jaschek, M., Jaschek C. (1977) Astron. Astrophys. 54, 367
- Johnson H. L., Morgan, W. W., (1953) Astrophys. J. 117, 313
- Morgan W. W., Keenan, P.C., An Atlas of Stellar Spectra (Chicago) (1943)
- Rousseau, J., Martin, N., Prevot, L., Rebeirot, E., Robin, A., Brunet, J.P. (1978) Astron. Astrophys. Suppl. 31, 243

Nandy: The stars, for which you have shown spectra, are massive and very luminous. Such luminous objects are very rare in our Galaxy. Perhaps a fair comparison with stars in our Galaxy can be made if the spectral classification can be extended to say $V \approx 16^m 0$; at this magnitude early type stars to spectral type B3V can be seen.

Fehrenbach: Without any doubt, the extension to $V = 16$ is most urgent in order to be able to compare stars with the same spectra in the galaxy and in the two Clouds.

Divan: The large dispersion in absolute magnitudes (-5 to -9.6) found by Fehrenbach for the Magellanic supergiants is not surprising as the same phenomenon exists in the Galaxy. It has been shown (D. Chalonge, L. Divan, 1973, *Astron. and Ap.* 23, 69) that ordinary Ib, Iab and Ia supergiants spread between $M = -4.8$ and -7.5 for B and early A spectral types; exceptionally luminous stars (6 Cas for instance) are even brighter ($M = -8$ or -8.5) and there is a continuous "spectrum" of magnitudes between these extreme cases and the less luminous Ib stars.

A very close relation exists between the two quantitative parameters λ , and D of a star in the BCD system and absolute magnitude, thus permitting one to assign a value of M much more precise than $M = -7$.

In the LMC the relation $M = f(\lambda, D)$ has been examined for about 10 stars having counterparts in the Galaxy (M between -7 and -8) and we found the same relation as for the galactic stars in a large spectral range (B3 to A3), except for a small zero point correction which can probably be attributed to an uncertainty in the LMC distance modulus.

The large excess in V found for Ia supergiants is mostly due to their Balmer jump which is much smaller than for Ib supergiants. The slightly redder color in B-V of Ia supergiants cannot be explained by the influence of lines on the filters (this influence would produce a bluer color and not a redder one). This redder color of the most luminous stars is not in contradiction with the actual models (which are certainly not good) in the sense that the color temperature of these models is decreasing with gravity at constant effective temperature, but no conclusion can be drawn for many reasons (even with better models) and the question is still open.

Code: Expanding on Divan's remarks, the absolute magnitude effects are of course shown in the spectra of galactic stars and not just the continuous parameters and are the bases of luminosity classes Ib, Ia, Ia0, etc. There are a few galactic supergiants

of high absolute magnitudes (such as ζ Sco, A0 Cas, etc.) which are similar to LMC supergiants in line spectra. However, certainly the metal abundances in the LMC are somewhat less than in our galaxy judging by diffuse nebulae and they are considerably smaller in the SMC judging by the stellar spectra as well as the diffuse nebulae. There is another reason, other than chemical composition, for the highest luminosity stars to have redder colors. The highest luminosity stars have stellar winds and extended envelopes. Model atmospheres, while still rather simple, give redder colors.

Finally in the paper of Morgan read by McCarthy I believe Morgan was already replying to your paper by saying that a classification system for stars in the Magellanic Clouds should be developed independently and then confronted with the MK system. Do you agree?

Fehrenbach: I agree completely with Code's remarks. Initially our goal was the study of supergiants in the Magellanic Clouds, in order to use them as models for galactic stars. But our measures have shown that this is not possible. There are small but real differences between the LMC and SMC stars and the galactic stars.

Schmidt-Kaler: One should not always first invoke metallicity as the cause of luminosity effects in the intrinsic colors. There is, first of all, the difference between ionization temperature (essentially determining the appearance of the spectra) and effective temperature (essentially determining the colors). Furthermore, among the high luminosity stars the probability of having shells increases with increasing luminosity. However, to correlate a particular stellar atmospheric model to a particular star one needs absolute measurements, i.e. referred to a black body source.

Fehrenbach: I agree with Schmidt-Kaler. The difference in metallicity is not derived from a difference in colors, but appears when there is a difficulty in classification. If one looks at the CaII and H lines one assigns a different spectral type than if one looks at the TiII and FeII lines. A small deficiency in metal abundance is suggested. This phenomenon seems to be clearer for the SMC. The problem of extended atmosphere is important and is very evident for certain stars.