

LE DIAGRAMME D'HERTZSPRUNG - RUSSEL (suite de l'escargot précédent)

3. LES INDICES DE COULEUR

Lorsqu'on connaît les magnitudes d'une étoile dans deux systèmes de magnitudes différents, on peut construire des indices de couleur. On définit ainsi l'indice standard de couleur $IC = m_p - m_{pv}$, l'indice B - V (de valeur proche de IC)¹, etc..

Les indices de couleur permettent de fixer le zéro de toutes les échelles de magnitudes car, *par convention*, tous les indices de couleur sont pris nuls pour les étoiles (blanches) de type A_{0 V}. Cette nomenclature sera définie plus loin.

Pour déterminer le zéro dans chaque échelle, il faut encore convenir d'un zéro dans une échelle.

$$\text{On pose} \quad (M_{\text{bol}})_{A_{0,V}} = 0 \quad (12)$$

Cette constante étant fixée, les zéros de toutes les autres échelles de magnitudes sont déterminés par les indices de couleur.

4. LE RAYONNEMENT DE CORPS NOIR

L'énergie lumineuse émise par un corps est fonction de sa température (métal chauffé au rouge, à blanc).

Si ce corps est à l'équilibre thermodynamique (équilibre thermique, chimique et mécanique), la répartition du flux en fonction de la fréquence dépend d'un paramètre, la température.

Cette répartition est fournie par la loi de Planck :

$$B_{\nu}(T) = \frac{2 h \nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (13)$$

où ν est la fréquence (Hz)

T est la température (K)

h est la constante de Planck (= 6.625 · 10⁻³⁴ J.s)

c est la vitesse de propagation de la lumière dans le vide

(= 2.99792458 · 10⁸ m/s) k est la constante de Boltzmann (= 1.380622 · 10⁻²³ J/K)

En fonction de la longueur d'onde, cette loi s'écrit :

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2 h c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (14)$$

¹ Pour les étoiles bleues (classes O,B), IC < 0.
Pour les étoiles rouges (classes F,G,K,M), IC > 0.
IC = 0 pour les étoiles de type A_{0 V}.

On constate que la courbe pour la température T_2 recouvre celle pour la température T_1 et que son maximum se déplace vers les petites longueurs d'onde.

Pour trouver la valeur de l'énergie à une température donnée, on intègre la fonction de Planck sur tout le spectre, ce qui donne :

$$B(T) = \int_0^{\infty} B_{\lambda}(T) \cdot d\lambda = \int_0^{\infty} B_{\nu}(T) \cdot d\nu = \frac{\sigma}{\pi} \cdot T^4 \quad (15)$$

où σ est la constante de Stefan ($= 5.66961 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$) et où $B(T)$ est donné en $\text{W/m}^2 \cdot \text{sr}$.

On constate donc que si on double la température, on multiplie l'énergie par 16.

Dérivons $B(T)$ par rapport à λ dans (14) et annulons cette dérivée. Il vient :

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = \text{cte} = 2.898 \cdot 10^{-3} \text{ mK} \quad (16)$$

C'est la loi de Wien qui décrit le déplacement du maximum vers les petites longueurs d'onde lorsque la température augmente.

Ainsi, on peut déduire une valeur approximative de la température du Soleil (considéré comme corps noir), sachant que le maximum de la courbe de sensibilité de l'oeil (proche du maximum d'énergie fournie) se situe à $555 \cdot 10^{-9} \text{ m}$.

On trouve alors $T = 5.22 \cdot 10^3 \text{ K}$.

On peut calculer le flux total émis par la source. Il est donné par

$$F_{\text{tot}} = \pi \cdot B(T) = \sigma \cdot T^4 \quad (17)$$

où on a utilisé (15) pour écrire la dernière égalité.
L'unité SI de flux est le W/m^2 .

La puissance totale (luminosité) émise par l'étoile s'écrit en vertu de

$$L = F_{\text{tot}} \cdot 4 \pi R^2 = \sigma \cdot T^4 \cdot 4 \pi R^2$$

où R est le rayon de l'étoile et où L est donné en W .

Le flux reçu par un récepteur vaut :

$$F_{\text{reçu}} = \frac{L}{4 \pi d^2}$$

où d est la distance étoile - récepteur.

En effet, la puissance rayonnée par l'étoile est répartie à la surface d'une sphère dont le centre est l'étoile et dont le rayon est la distance étoile - observateur.

Elle est représentée sur la figure ci-dessous pour quatre températures.

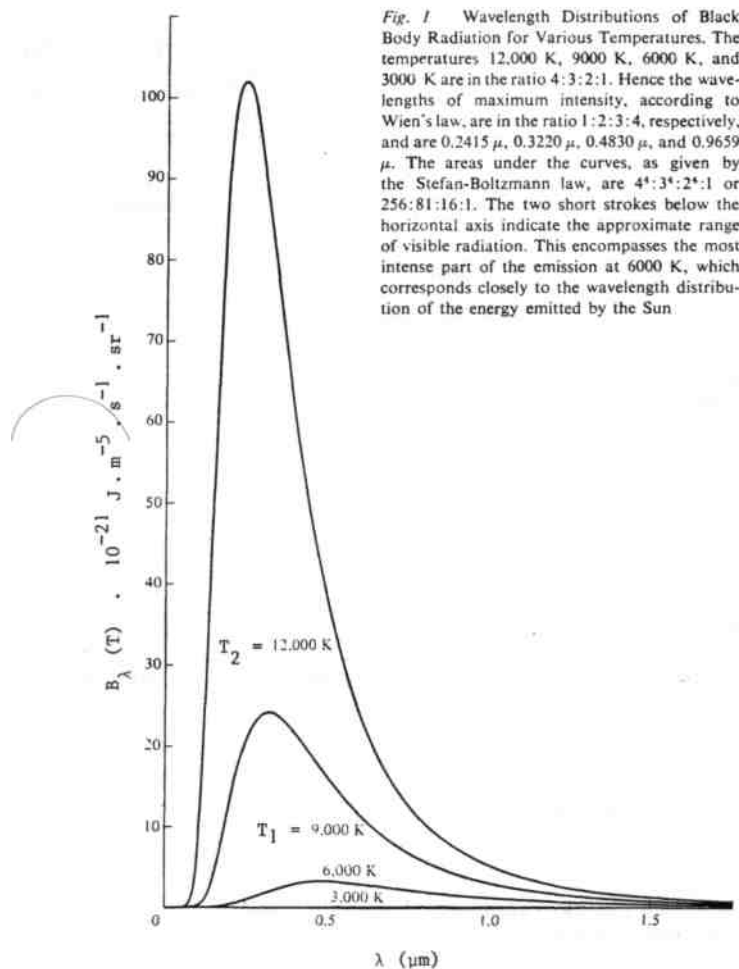


Fig. 1 Distribution du flux d'énergie émis par un corps noir porté à différentes températures.

Revenons-en à la loi de Wien. Cette loi fournit donc un lien entre la couleur d'une étoile et sa température, et donc entre son indice de couleur et sa température.

D'autre part, le type spectral d'une étoile est déterminé par l'étude spectroscopique des états d'excitation des atomes et molécules constitutifs de son atmosphère.

Or, ces états d'excitation sont directement liés à la température de l'étoile (loi de Saha). Le type spectral de cette dernière est donc fonction de son indice de couleur $(B-V)_0$ qui est l'indice de couleur B-V corrigé de l'absorption due au milieu interstellaire.

Types spectraux	0	B	A	F	G	K	M	
T	50	25	12	8	6	4	2.5	10^3 K

5. DESCRIPTION DU DIAGRAMME H-R

Nous venons de voir que la température d'une étoile, son indice de couleur et son type spectral sont trois variables liées les unes aux autres par la loi de Wien d'une part et la loi de Saha d'autre part.

C'est pourquoi on trouve des diagrammes H-R portant les magnitudes des étoiles en fonction de leurs indices de couleur, de leur température ou de leurs types spectraux.

La figure 2 représente le diagramme H-R des étoiles de distances connues.

On constate que les étoiles sont regroupées en séquences correspondant à différentes classes de luminosité.

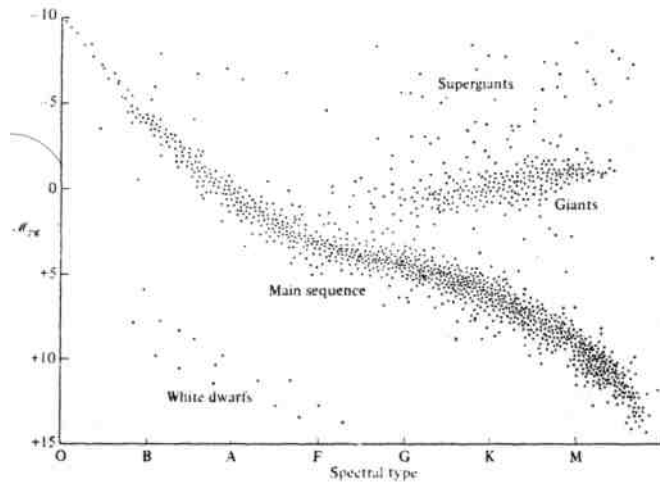


Fig. 2 Cette distribution pour les étoiles de distance connue est caractéristique des étoiles du voisinage du Soleil (d'après G. O. Abell)

En idéalisant, on obtient le diagramme de la figure 3.

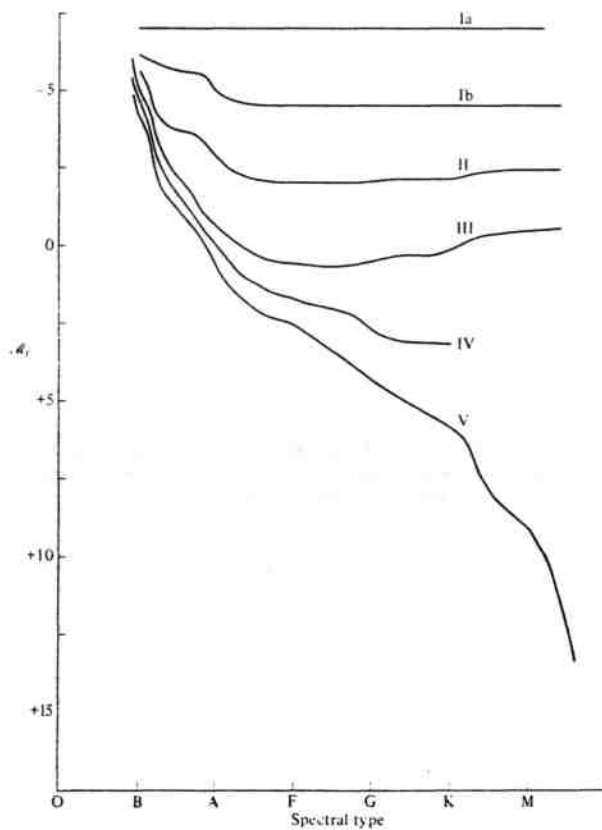


Fig. 3 Classes de luminosité.

Magnitude absolue visuelle en fonction du type spectral (Données de P. C. Keeman - K. Aa. Strand, éd. - 1963)

Ce diagramme H-R présente différentes classes de luminosité. Cinq classes principales ont été définies.

La classe I correspond aux étoiles supergéantes ; elle est subdivisée en une classe Ia, qui regroupe les étoiles les plus lumineuses, et une classe Ib, qui concerne les étoiles de même type spectral que celles de la classe Ia, mais un peu moins lumineuses.

La classe II correspond aux étoiles géantes brillantes nettement moins lumineuses que celles

de la classe I, mais beaucoup plus que celles de la classe III. Cette dernière correspond aux étoiles géantes.

La classe IV correspond aux étoiles sous-géantes intermédiaires entre les étoiles des classes III et V.

La classe V correspond aux étoiles naines, c'est-à-dire aux étoiles de la séquence principale (le Soleil appartient à cette classe).

Quelques étoiles se trouvent dans le diagramme H-R sous la séquence principale ; il s'agit des sous-naines, auxquelles on attribue la classe de luminosité VI.

Le spectre des naines blanches n'entre pas dans cette classification et il est identifié par des caractères bien particuliers. La classe de luminosité de ces objets est parfois désignée par VII.

Chaque étoile est donc repérée par son type spectral et sa classe de luminosité.

Ainsi, les étoiles $A_{0,V}$ qui ont servi à définir les zéros des indices de couleur sont des étoiles de type spectral A_0 appartenant à la séquence principale.

Christine Kint,
Luc Louys

Article paru dans « l'escargot », la revue de l'asbl en avril 1986 (Escargot, 86/2).