LE DIAGRAMME D'HERTZSPRUNG - RUSSELL

(Ces notes sont extraites d'un exposé présenté par L. LOUYS lors d'un séminaire de la Société Royale Belge d'Astronomie)

INTRODUCTION

Le diagramme de Hertzsprung et Russel (diagramme H-R) est une classification stellaire à deux dimensions. Sur l'axe des ordonnées, on porte la magnitude des étoiles, corrigée de l'effet de distance (magnitude absolue).
Cette précaution prise, les magnitudes lues sur le diagramme caractérisent une propriété physique des étoiles, leur luminosité.
L'axe des abscisses porte le type spectral des étoiles (0,B,A,F,G,K,M).

Ce diagramme est très utile aux astrophysiciens, dans la mesure où il permet de déterminer des paramètres physiques importants dans l'étude de l'évolution stellaire.
Il permet aussi d'évaluer les distances stellaires et l'âge des amas globulaires et ouverts.

LES MAGNITUDES

Sur l'axe vertical du diagramme, on porte donc une grandeur relative à l'éclat des étoiles. Ceci impose que l'on puise caractériser quantitativement ce paramètre.

C'est ainsi que fut introduite, à l'époque d'Hipparque déjà, une échelle de magnitude basée sur la perception de l'œil, de la différence d'éclat entre les étoiles.
Cette échelle comporte six grandeurs, la première étant celle des quinze étoiles les plus brillantes, la sixième celle des étoiles à peine visibles à l'œil nu.

Les techniques d'observation s'étant considérablement développées, on a comparé l'éclat des étoiles à celui de sources calibrées en laboratoire. La comparaison a montré qu'à une différence de cinq magnitudes correspond approximativement un rapport d'énergie de un à cent.
La fonction qui lie une différence de deux quantités à un rapport de deux autres quantités est la fonction logarithmique.

On a alors redéfini la magnitude d'une étoile par :

$$m = -2.5 \log_{10} F + C \quad (1)$$

où F est le flux lumineux (voir ci-dessous) et C une constante qui définit le zéro de l'échelle.

La relation (1), connue sous le nom de formule de Pogson, est construite de manière qu'une augmentation du flux lumineux soit traduite par une diminution de la magnitude. Ainsi, les étoiles brillantes auront des magnitudes petites, voir négatives (ex. Sirius : - 1.44).
Cette convention est liée à l'ancienne classification des étoiles en *grandeurs*, les objets les plus lumineux étant dits de *première grandeur*, les objets les moins lumineux, de *sixième grandeur*.
La définition des magnitudes est donc consistante avec l'ancienne classification.

De (1), il découle que :

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log(F_1/F_2) \qquad (2)$$

qui permet de retrouver $m_1 - m_2 = 5$ pour $F_1/F_2 = 1/100$.

Précisons à présent ce que représente le flux F.
Il dépend, d'une part du rayonnement lumineux émis par l'étoile et, d'autre part, du récepteur captant le rayonnement.
Comme la sensibilité du récepteur varie en fonction de la longueur d'onde,
on a :

$$\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} F_\lambda \cdot a_\lambda \cdot d\lambda \qquad (3)$$

où λ_{min} et λ_{max} correspondent aux limites du domaine de sensibilité du récepteur, F_λ est le flux émis par l'étoile à la longueur d'onde λ et a_λ est la sensibilité relative du récepteur à la longueur d'onde λ. La sensibilité relative est comprise entre 0 et 1. La magnitude définie par (1) dépend donc, à travers le flux F, du récepteur utilisé.

Le tableau suivant donne quelques échelles de magnitudes, le récepteur y correspondant et la longueur d'onde effective λ_e correspondant au maximum de sensibilité du récepteur :

magnitude visuelle	m_v	l'oeil	λ_e= 555 nm
magnitude photographique	m_{pg}	plaques photographiques (ortho chromatiques)	λ_e= 425 nm
magnitude photovisuelle	m_{pv}	plaques photographiques (panchromatiques)	λ_e= 429 nm
Système U, B, V	U pour U.V. B pour bleu V pour visible		λ_e= 360 nm λ_e= 420 nm λ_e= 535 nm

Afin d'éliminer le paramètre "récepteur" de la définition de la magnitude, on utilise la magnitude bolométrique : m_{bol}.
C'est la magnitude qui serait mesurée si on utilisait un récepteur idéal, également sensible à toutes les longueurs d'onde.
Pour un tel récepteur, $a_\lambda = 1$, pour tout λ, et donc le flux s'écrit :

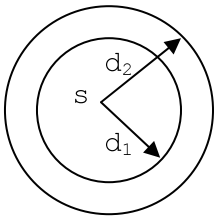
$$F = \int_0^\infty F_\lambda \cdot d\lambda \qquad (4)$$

Jusqu'à présent, il est une variable dont nous n'avons pas tenu compte : la distance ce l'étoile au récepteur. En effet, les magnitudes mesurées sont fonction de deux facteurs : l'énergie émise par l'étoile et la distance de cette dernière à la Terre.

On mesure des magnitudes dites apparentes m. On peut supprimer l'effet de la distance en ramenant par la pensée toutes les étoiles à une même distance, choisie arbitrairement égale à 10 parsecs. On parle alors de magnitude absolue M.

Cette dernière dépend uniquement de la puissance lumineuse émise par l'étoile.
Jusqu'à présent, il est une variable dont nous n'avons pas tenu compte : la distance ce l'étoile au récepteur. En effet, les magnitudes mesurées sont fonction de deux facteurs : l'énergie émise par l'étoile et la distance de cette dernière à la Terre.
On mesure des magnitudes dites apparentes m. On peut supprimer l'effet de la distance en ramenant par la pensée toutes les étoiles à une même distance, choisie arbitrairement égale à 10 parsecs. On parle alors de magnitude absolue M.
Cette dernière dépend uniquement de la puissance lumineuse émise par l'étoile

La loi de la bougie permet le passage des magnitudes apparentes aux magnitudes absolues et inversement. En effet, considérons une source lumineuse S. Le flux F1, mesuré à une distance *d1,* est l'énergie émise par unité de temps par la source, répartie à la surface d'une sphère de rayon d1 ($S = 4 \pi d^2$), d'où :



$$F_1 = \frac{E}{4\,\pi\,d_1^2} \qquad (5)$$

où E est l’énergie émise par unité de temps (puissance) par la source.
Le flux F_2 mesuré à une distance d_2 vaut :

$$F_2 = \frac{E}{4\,\pi\,d_2^2} \qquad (6)$$

Si $d_2 = 2\ d_1$, alors

$$F_2 = \frac{E}{4\,\pi\,4\,d_1^2} \qquad (6)$$

et F_1 est 4 fois plus important que F_2 ce qui est caractéristique d'une loi en $1/d^2$.
Supposons à présent que la source soit une étoile, que la Terre soit à une distance $d_1 = d$ de cette étoile et que d_2 soit la distance arbitraire de 10 parsecs. La magnitude apparente m est une fonction du flux

$$F_1 = \frac{E}{4\,\pi\,d^2} \qquad (7)$$

tandis que la magnitude absolue M dépend du flux

$$F_2 = \frac{E}{4\,\pi\,(10)^2} \qquad (8)$$

En remplaçant (7) et (8) dans (2), il vient :

$$m - M = -2.5 \log_{10} (10/d)^2 \qquad (9)$$

c'est-à-dire :

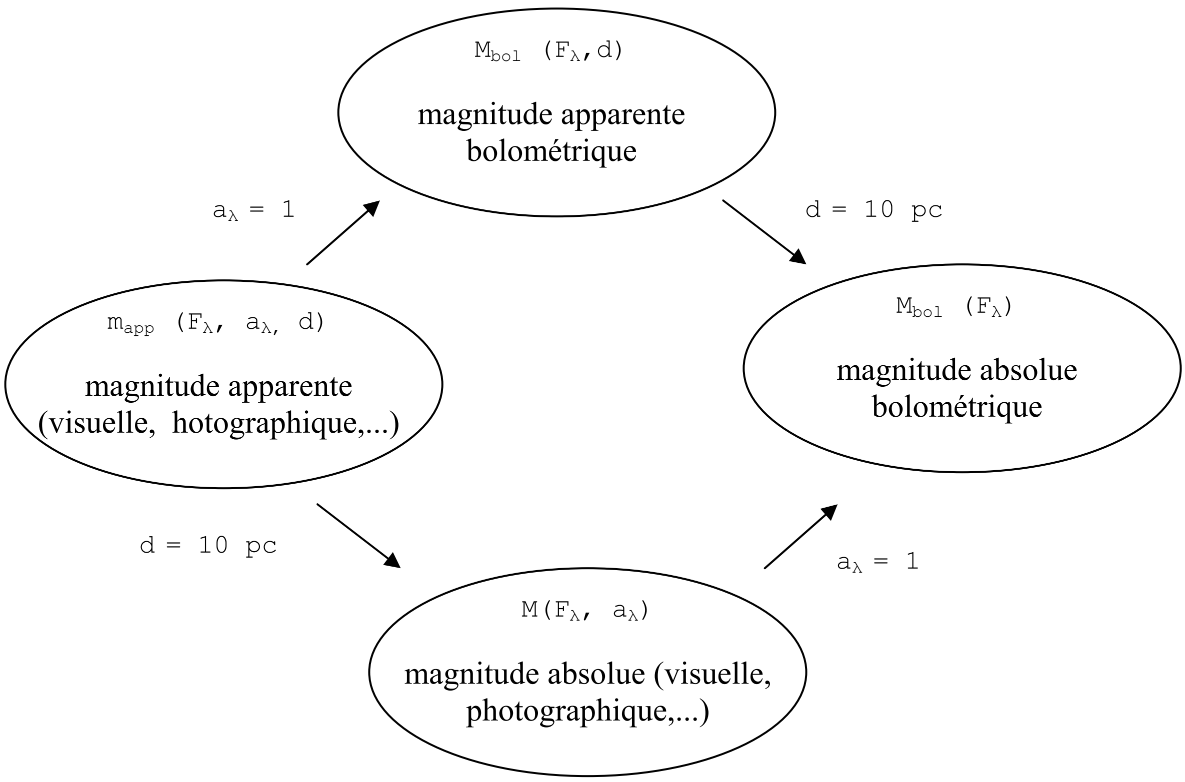
$$m - M = -5+5 \log_{10} d_{pc} \qquad (10)$$

Si on connaît la magnitude visuelle apparente m_v d'une étoile, ainsi que sa distance à la Terre, on peut calculer la magnitude absolue visuelle M_v.

Si, de plus, on connaît la correction bolométrique (BC)*, on peut calculer la magnitude absolue bolométrique :

$$M_{bol} = M_v + BC = m_v + 5 - 5 \log_{10} d_{pc} + BC \qquad (11)$$

La figure suivante résume les différents liens entre les systèmes de magnitudes.



La magnitude absolue bolométrique est une caractéristique intrinsèque de l'étoile.

Christine Kint,
Luc Louys

a suivre…

Article paru dans« l'escargot », la revue de l'asbl en janvier 1986 (Escargot, 86/1)

---

* par définition $BC = M_{bol} - M_v = m_{bol} - m_{v\ app}$