



## LES MAGNITUDES

Les principales caractéristiques d'une étoile sont sa masse, son rayon, sa température, sa composition chimique, et sa luminosité.

Cette dernière valeur représente la puissance rayonnée par l'étoile. Comme toute puissance, elle s'exprime en Watts.

Afin de se rapprocher de la vision des Anciens (en particulier les Grecs antiques) qui, comme Ptolémée dans l'Almageste, parlaient des étoiles de première, de deuxième... de sixième grandeur selon leur ordre d'apparition dans le ciel le soir venu, les spécialistes ont mis au point le système des magnitudes, représentation chiffrée de ces « grandeurs ».

### Rayonnement des étoiles

La puissance rayonnée par une étoile s'appelle sa *luminosité* (L).

L'*éclat* de l'étoile est la puissance reçue par la Terre par unité de surface prise perpendiculairement à l'axe de visée. L'éclat (E) se mesure donc en  $W/m^2$  et est lié à la luminosité par la relation :

$$E = \frac{L}{4\pi d^2} \quad \text{où } d \text{ est la distance de l'étoile}$$

Les mesures des luminosités des étoiles se font pour une longueur d'onde précise, ou une gamme de longueurs d'ondes déterminées. La Luminosité L est la somme totale de la puissance rayonnée dans toutes les longueurs d'ondes, des fréquences radio au rayonnement gamma.

Pour le Soleil, la puissance totale reçue par la Terre (l'éclat) s'appelle la « *constante solaire* » et vaut  $1\,360\, W/m^2$ .

Situé à 150 millions de km de notre planète, le Soleil rayonne donc une puissance totale d'environ  $4 \cdot 10^{26}\, W$ .

### Magnitude apparente

La *magnitude apparente* mesure la fraction de la puissance reçue par une surface de  $1\, m^2$  sur la Terre, donc l'éclat de l'étoile.

Elle est symbolisée par la lettre m et définie comme suit :

$$m = -2,5 \log E + C \quad \text{(Loi de Pogson)}$$

C est une constante ayant permis l'ajustement de l'échelle des magnitudes avec celle des grandeurs. La magnitude est une mesure relative (comparée à des sources standardisées d'étoiles situées autour de l'étoile polaire).

On peut noter que cette échelle de magnitudes est décroissante : plus l'étoile est lumineuse, plus le nombre représentant sa magnitude est faible.

Additionner 1 dans l'échelle des magnitudes revient à diviser par 2,512 dans l'échelle des luminosités. Autrement dit, une étoile de magnitude 2 est 2,5 fois plus lumineuse qu'une étoile de magnitude 3. De même, une étoile de magnitude 0 est 100 fois ( $2,512^5$ ) plus lumineuse qu'une étoile de magnitude 5.

La magnitude peut être négative. Celle de Sirius est de  $-1,46$  (voir plus loin le tableau du chapitre des magnitudes absolues).

Les étoiles les plus faibles visibles à l'œil nu ont une magnitude apparente de 6. L'œil nu peut voir environ 6 000 étoiles de magnitude inférieure à 6.

La magnitude limite obtenue aujourd'hui par les plus grands télescopes est de 30.

Comme les étoiles ne rayonnent pas de la même façon dans toutes les longueurs d'ondes, il faut préciser celle-ci, ou du moins la gamme de longueurs d'ondes considérée.

$$m(I) = -2,5 \log E(I) + C$$

On parlera de magnitude apparente visuelle pour les longueurs d'ondes visibles, ou de magnitude apparente photographique pour les longueurs d'ondes affectant les émulsions photographiques. On le voit, ces deux exemples sont approximatifs.

Les scientifiques, qui préfèrent les valeurs chiffrées reproductibles et vérifiables quelles que soient les personnes observant ou l'émulsion choisie, ont élaboré des systèmes plus précis, où les magnitudes apparentes sont mesurées à travers des filtres standardisés, par des photomètres. Ces appareils sont basés sur la transformation de l'énergie des photons reçus sur une cellule photoélectrique, en courant électrique facilement mesurable.

C'est ainsi qu'a été élaboré le système photométrique UBV. La gamme de longueurs d'ondes U est située dans le proche Ultraviolet, la B dans le Bleu, et la V dans le Visible. Les magnitudes apparentes ainsi déterminées sont notées U, B ou V, et non  $m_U$ ,  $m_B$ ,  $m_V$ .

Le système est étendu vers les longueurs d'ondes Infrarouges, en utilisant au mieux les fenêtres de transmission de ces longueurs d'ondes par l'atmosphère terrestre.

Le tableau suivant donne, pour chaque filtre standard, sa longueur d'onde ( $\lambda$ ), et sa bande passante ( $\Delta\lambda$ ) autour de cette valeur centrale  $\lambda$ .

Bande	$\lambda$ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)	
U	365	68	Ultraviolet
B	440	98	Bleu
V	550	89	Visible
I	900	240	Infrarouge
J	1 250	300	
K	2 200	400	
N	10 200	5000	
Q	21 000	8000	

La détermination des magnitudes apparentes dans diverses bandes permet d'évaluer *l'indice de couleur* de l'étoile. Il représente le fait qu'une étoile ne rayonne pas de la même façon dans toutes les longueurs d'ondes. Elle possède une couleur.

Dans le système UBV, l'indice de couleur est calculé par U-B ou par B-V. Ces valeurs sont utilisées en abscisse du diagramme HR, au même titre que la température ou le type spectral.

### Magnitude absolue

La magnitude apparente est fonction de l'éclat d'une étoile, éclat lui-même fonction de sa distance, et ne nous renseigne pas quant à sa luminosité.

Prenons une ampoule électrique comme illustration. Allumée, elle est plus lumineuse si elle est vue d'une distance de 5 mètres qu'à 20 mètres. La lumière reçue ne nous renseigne pas sur la puissance de la lampe, tant que l'on ne connaît pas sa distance. La magnitude absolue est en quelque sorte la puissance inscrite sur la lampe (en Watts).

Par définition, la *magnitude absolue* d'une étoile est la magnitude apparente qu'aurait cette étoile si elle était située à une distance fixe de 10 parsecs. Elle est notée  $M$  et définie comme suit :

$$M = -2,5 \log E + C \quad \text{avec } E = \frac{L}{4\pi D^2} \quad \text{et } D = 10 \text{ parsecs}$$

Cette nouvelle échelle de magnitude nous permet d'évaluer la luminosité de l'étoile, mais aussi sa distance :

$$m = -2,5 \log \frac{L}{4\pi d^2} + C \quad M = -2,5 \log \frac{L}{4\pi 10^2} + C$$

$$m - M = -2,5 \log \frac{10^2}{d^2}$$

$$m - M = 5 \log d - 5 \quad (1)$$

La valeur  $m - M$  est appelée le *module de distance* et noté  $\mu$ . Toutes les méthodes d'évaluation des distances des objets astronomiques sont basées sur le principe d'une évaluation de la magnitude absolue (évaluation fondée sur des phénomènes physiques avérés). Cette dernière, à l'aide de la mesure de la magnitude apparente et de l'équation (1), permet d'en déduire la distance  $d$ .

Le tableau suivant donne la magnitude apparente, absolue et la distance en parsec de quelques étoiles, évaluée à l'aide de l'équation (1) :

Etoile	V	M(v)	Distance (pc)
Soleil	-26,78	4,8	$4,83 \cdot 10^{-6}$
Sirius	-1,46	1,4	2,68
Arcturus	-0,06	-0,2	10,66
Alpha du centaure	-0,1	4,3	1,32
Véga	0,04	0,5	7,6
Capella	0,08	-0,6	12,5
Rigel	0,11	-7,0	190
Procyon	0,35	2,6	3,4
Betelgeuse	0,80	-6,0	200
Altair	0,77	2,3	4,9
Antarès	0,92	-4,7	133
Deneb	1,26	-7,3	515
Etoile polaire	2,09	-3,5	131
Etoile de Barnard	9,7	13,3	1,9
Proxima du Centaure	11	15,4	1,32

Pour cette échelle également, la longueur d'onde à laquelle l'étoile est observée est importante. On précisera la bande en la notant M(u) pour la bande U, M(v) pour la bande V...

### **Magnitudes bolométriques**

Les magnitudes bolométriques apparente ( $m_{bol}$ ) ou absolue ( $M_{bol}$ ) intègrent la totalité de l'énergie rayonnée par l'étoile sur toutes les longueurs d'ondes. Pour la mesurer, il faut s'affranchir de l'absorption atmosphérique qui ne permet pas à certaines longueurs d'ondes de parvenir jusqu'à nous (en UV, IR...). La mesure des magnitudes bolométriques nécessite des capteurs spécialisés chacun dans son domaine spectral, et pour certains, embarqués dans des satellites artificiels.

La magnitude bolométrique est définie ainsi :

$$m_{bol} = V - BC \quad \text{pour la magnitude apparente}$$

$$M_{bol} = M(v) - BC \quad \text{pour la magnitude absolue}$$

BC est la Correction Bolométrique. On trouve dans la littérature spécialisée des diagrammes donnant BC selon la classe et le type spectral des étoiles.

### **Magnitude des objets non ponctuels**

Les objets non ponctuels comme les nébuleuses ou les galaxies sont également caractérisés par leur luminosité. On peut ainsi en déduire une magnitude apparente, comme il a été fait pour les étoiles. La différence est que les objets non ponctuels émettent cette luminosité sur une surface non nulle. Une galaxie très faible mais étendue peut avoir la même magnitude apparente qu'une étoile brillante.

On introduit alors la notion de brillance surfacique définie par :

$$K = \log \frac{E}{S} \quad \text{avec } E \text{ représentant l'éclat reçu de la Terre, en } W/m^2, \\ \text{et } S \text{ la surface de l'objet en radian carré.}$$

### **Magnitude des étoiles variables**

Certaines étoiles ne rayonnent pas de façon régulière et constante leur énergie. Leur magnitude est variable dans le temps. Les raisons de cette variabilité sont diverses :

- Novas et supernovas (variables éruptives)
- Étoiles instables en début de vie (Herbig-Haro, T-Tauri)
- Étoiles instables en fin de vie (géantes rouges, Céphéides, RR-Lyrae)
- Variables à éclipses (systèmes multiples)

Certains astronomes amateurs se sont regroupés au sein d'associations de « variabilistes », qui surveillent les étoiles variables.

Le tableau suivant donne la variation de la magnitude apparente visuelle de quelques étoiles variables, ainsi que leur période de variation :

Étoile	Mv		Période (Jours)
	Max	Min	
β Persée (Algol)	2,2	3,5	2,87
δ Céphée	2,8	4,6	5,37
β Lyre	3,4	4,3	12.91
o Baleine (Mira Ceti)	2	10	331.65
α Hercule	3,1	3,9	100

On note une large gamme de variations et de périodes, due aux différents phénomènes générant la variabilité.

### **Magnitude des étoiles doubles**

Les étoiles doubles sont des systèmes de deux étoiles tournant l'une autour de l'autre selon les lois de Kepler. Lorsque les deux étoiles sont suffisamment proches angulairement pour ne pas être séparées par les instruments, la magnitude mesurée est faussée.

Par exemple, un couple serré dont les composantes non séparées ont une magnitude de 3 et 4,5 aura une magnitude apparente mesurée de 2,76.

Ce phénomène introduit des erreurs, en particulier dans les diagrammes HR, si des étoiles doubles non détectées sont présentes.

La détection des étoiles doubles non séparées optiquement se fait par spectroscopie (raies dédoublées ou vitesses radiales différentes) ou par photométrie (excès anormal de luminosité dans un domaine spectral particulier).

## **Absorption interstellaire**

La magnitude apparente représente la quantité de lumière issue d'une étoile, et qui nous arrive sur Terre. Des poussières ou des gaz présents sur la ligne de visée peuvent absorber tout ou partie de cette lumière.

A la magnitude apparente observée, il faudra retrancher une valeur  $A$  représentant l'*absorption ou extinction interstellaire*.

L'absorption  $A$  n'est pas uniforme sur le ciel, et dépend également de la distance traversée et de la longueur d'onde du filtre.

La poussière interstellaire absorbe moins les grandes longueurs d'ondes que les petites. Autrement dit, l'absorption sera moins importante en infrarouge qu'en visible, par exemple. Les longueurs d'ondes courtes (bleu, violet) étant absorbées, la lumière nous parvenant sera « rougie ».  $A$  s'appelle également le *rougissement interstellaire*.

Des cartes existent, qui donnent, pour différentes régions du ciel et à différentes longueurs d'ondes, la valeur du terme correctif  $A$ , en magnitude par kpc.

## **Bibliographie :**

*A l'affût des étoiles* – P. Bourge/J. Lacroux (Dunod)

*Astronomie, introduction* – A. Acker (Masson)

*Astrophysique, méthodes physiques de l'observation* - P. Lena (CNRS)

*Méthodes de l'astrophysique* – L. Gouguenheim (Hachette)

*L'Univers* – I. Nicolson et P. Moore (Armand Colin)

*Astronomie du ciel profond* – S. Brunier (Dunod)

Les objets de Messier – B. Guillaud-Saumur, O. Réthoré (Masson)

Red Shift 3 – CD-Rom collectif (Maris Multimédia)

*JP. Maratrey – novembre 99*