

Stage DAFOP: distances dans l'Univers

Magnitudes des étoiles

CLEA (S.Thiault)
4 février 2020

Observatoire de Lyon

Magnitude apparente d'une étoile

Magnitude apparente d'une étoile

Avant la physique...

Magnitude apparente d'une étoile

Avant la physique...



[//serge.mehl.free.fr/chrono/Hipparque.](http://serge.mehl.free.fr/chrono/Hipparque)

Hipparque, mathématicien et astronome grec du II^{ème} siècle av J.C., avait proposé de classer les étoiles de 1 à 6 en fonction de leur éclat.

Magnitude apparente d'une étoile

Avant la physique...



[//serge.mehl.free.fr/chrono/Hipparque.](http://serge.mehl.free.fr/chrono/Hipparque)

Hipparque, mathématicien et astronome grec du II^{ème} siècle av J.C., avait proposé de classer les étoiles de 1 à 6 en fonction de leur éclat.

Il appelle **magnitude**, la “grandeur de la brillance de l'étoile”.

Magnitude apparente d'une étoile

Avant la physique...



[//serge.mehl.free.fr/chrono/Hipparque](http://serge.mehl.free.fr/chrono/Hipparque).

Hipparque, mathématicien et astronome grec du II^{ème} siècle av J.C., avait proposé de classer les étoiles de 1 à 6 en fonction de leur éclat.

Il appelle **magnitude**, la “grandeur de la brillance de l'étoile”.

magnitude	1	à	6
brillance	plus brillante	à	moins brillante

Magnitude apparente d'une étoile

Magnitude apparente d'une étoile

Loi de Pogson...

Magnitude apparente d'une étoile

Loi de Pogson...

Au XIX siècle, loi de Weber-Fechner : si on fait varier l'intensité d'un stimulus , le cerveau réagit de manière logarithmique.

Magnitude apparente d'une étoile

Loi de Pogson...

Au XIX siècle, loi de Weber-Fechner : si on fait varier l'intensité d'un stimulus , le cerveau réagit de manière logarithmique.

ex : la lumière d'une bougie suivant qu'elle est allumée de nuit ou en plein soleil, etc...

Magnitude apparente d'une étoile

Loi de Pogson...

Au XIX siècle, loi de Weber-Fechner : si on fait varier l'intensité d'un stimulus , le cerveau réagit de manière logarithmique.

ex : la lumière d'une bougie suivant qu'elle est allumée de nuit ou en plein soleil, etc...

Pogson, astronome anglais adapte cette loi aux magnitudes des astres.

Magnitude apparente d'une étoile

Loi de Pogson...

Au XIX siècle, loi de Weber-Fechner : si on fait varier l'intensité d'un stimulus , le cerveau réagit de manière logarithmique.

ex : la lumière d'une bougie suivant qu'elle est allumée de nuit ou en plein soleil, etc...

Pogson, astronome anglais adapte cette loi aux magnitudes des astres.

On ne peut donc que comparer des ordres de grandeur et il faut avoir une étoile de référence ; appelons la S_0 .

Magnitude apparente d'une étoile

Loi de Pogson...

Au XIX siècle, loi de Weber-Fechner : si on fait varier l'intensité d'un stimulus , le cerveau réagit de manière logarithmique.

ex : la lumière d'une bougie suivant qu'elle est allumée de nuit ou en plein soleil, etc...

Pogson, astronome anglais adapte cette loi aux magnitudes des astres.

On ne peut donc que comparer des ordres de grandeur et il faut avoir une étoile de référence ; appelons la S_0 .

Soit E_0 l'éclat perçu de cette étoile de référence .

La magnitude d'une étoile m en fonction de l'éclat perçu E est donc de la forme :

$$m = k \log \left(\frac{E}{E_0} \right) .$$

La magnitude de l'étoile de référence vaut donc : 0

Magnitude apparente d'une étoile

Loi de Pogson...

Au XIX siècle, loi de Weber-Fechner : si on fait varier l'intensité d'un stimulus , le cerveau réagit de manière logarithmique.

ex : la lumière d'une bougie suivant qu'elle est allumée de nuit ou en plein soleil, etc...

Pogson, astronome anglais adapte cette loi aux magnitudes des astres.

On ne peut donc que comparer des ordres de grandeur et il faut avoir une étoile de référence ; appelons la S_0 .

Soit E_0 l'éclat perçu de cette étoile de référence .

La magnitude d'une étoile m en fonction de l'éclat perçu E est donc de la forme :

$$m = k \log \left(\frac{E}{E_0} \right) .$$

La magnitude de l'étoile de référence vaut donc : 0

Magnitude apparente d'une étoile

Magnitude apparente d'une étoile

Précisons...

Magnitude apparente d'une étoile

Précisons...

Pour rester en accord avec la classification, ancienne, on a décidé qu'entre une étoile de magnitude 1 et une étoile de magnitude 6, le rapport des éclats apparents est 100.

Magnitude apparente d'une étoile

Précisons...

Pour rester en accord avec la classification, ancienne, on a décidé qu'entre une étoile de magnitude 1 et une étoile de magnitude 6, le rapport des éclats apparents est 100.

Soit E_1 l'éclat d'une l'étoile S_1 de magnitude 1 .

Soit E_2 l'éclat d'une l'étoile S_2 de magnitude 6.

Calculons k .

Magnitude apparente d'une étoile

Précisons...

Pour rester en accord avec la classification, ancienne, on a décidé qu'entre une étoile de magnitude 1 et une étoile de magnitude 6, le rapport des éclats apparents est 100.

Soit E_1 l'éclat d'une l'étoile S_1 de magnitude 1 .

Soit E_2 l'éclat d'une l'étoile S_2 de magnitude 6.

Calculons k .

On a :

$$\begin{cases} k \log\left(\frac{E_1}{E_0}\right) = 1 \\ k \log\left(\frac{E_2}{E_0}\right) = 6 \end{cases} \implies k \log(E_1) - k \log(E_2) = -5 \implies k \log\left(\frac{E_1}{E_2}\right) = -5$$

Mais $\frac{E_1}{E_2} = 100$ et $\log\left(\frac{E_1}{E_2}\right) = 2$.

On en déduit $k = -2,5$ et :

$$m = -2,5 \log\left(\frac{E}{E_0}\right).$$

Magnitude apparente d'une étoile

Magnitude apparente d'une étoile

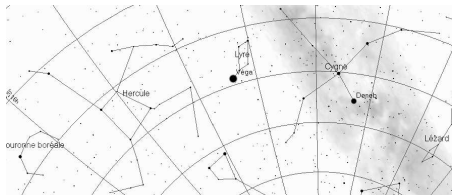
A l'épreuve des données...

Magnitude apparente d'une étoile

A l'épreuve des données...

L'étoile Véga, de la constellation de la Lyre, est très brillante.

Sa magnitude apparente est fixée à 0.



Carte d'identité de l'étoile
Véga

source :Stellarium

Véga (α Lyr -3 Lyr)
–HIP91262

Type : étoile variable pul-
sante

Magnitude : 0.00

Magnitude absolue : 0.57

Type spectral : A0Vvar

Distance : 25.04 années-
lumière

Parallaxe : 0.13023''

Période : 0.19 days

Magnitude apparente d'une étoile

Magnitude apparente d'une étoile

A l'épreuve des données...

Magnitude apparente d'une étoile

A l'épreuve des données...

Pour une étoile de magnitude apparente m et d'éclat apparent E :

- $m = -2,5 \log\left(\frac{E}{E_0}\right) \iff m = -2,5 \log(E) + 2,5 \log(E_0).$

Pour Véga, on a : $\log(E_{vega}) = \log(E_0) \iff E_{vega} = E_0 .$

Autrement dit :

La magnitude apparente d'une étoile traduit le rapport d'éclat entre cette étoile et l'étoile Véga.

Magnitude apparente d'une étoile

Magnitude apparente d'une étoile

A l'épreuve des données...

Magnitude apparente d'une étoile

A l'épreuve des données...

- Que peut-on dire d'une étoile qui a une magnitude apparente négative ?

Magnitude apparente d'une étoile

A l'épreuve des données...

- Que peut-on dire d'une étoile qui a une magnitude apparente négative ?
- L'étoile la plus brillante, après le Soleil, est Sirius, dans la constellation du grand Chien. Son éclat est 3,9 fois celui de Vega. Calculer sa magnitude apparente.

Magnitude apparente d'une étoile

A l'épreuve des données...

- Que peut-on dire d'une étoile qui a une magnitude apparente négative ?
- L'étoile la plus brillante, après le Soleil, est Sirius, dans la constellation du grand Chien. Son éclat est 3,9 fois celui de Vega. Calculer sa magnitude apparente.
- La magnitude apparente du soleil est $-26,7$. Calculer le rapport entre l'éclat apparent du Soleil, E_{\odot} , et celui de Vega, E_0 .

Magnitude apparente d'une étoile

A l'épreuve des données...

- Que peut-on dire d'une étoile qui a une magnitude apparente négative ?
- L'étoile la plus brillante, après le Soleil, est Sirius, dans la constellation du grand Chien. Son éclat est 3,9 fois celui de Vega. Calculer sa magnitude apparente.
- La magnitude apparente du soleil est $-26,7$. Calculer le rapport entre l'éclat apparent du Soleil, E_{\odot} , et celui de Vega, E_0 .
- m et m' sont les magnitudes apparentes de deux étoiles d'éclat respectifs E et E' , montrer que : $m < m' \Leftrightarrow E > E'$.

Magnitude apparente d'une étoile

A l'épreuve des données...

- Que peut-on dire d'une étoile qui a une magnitude apparente négative ?
- L'étoile la plus brillante, après le Soleil, est Sirius, dans la constellation du grand Chien. Son éclat est 3,9 fois celui de Vega. Calculer sa magnitude apparente.
- La magnitude apparente du soleil est -26,7. Calculer le rapport entre l'éclat apparent du Soleil, E_{\odot} , et celui de Vega, E_0 .
- m et m' sont les magnitudes apparentes de deux étoiles d'éclat respectifs E et E' , montrer que : $m < m' \Leftrightarrow E > E'$.

Magnitude apparente d'une étoile

A l'épreuve des données...

- Que peut-on dire d'une étoile qui a une magnitude apparente négative ?
- L'étoile la plus brillante, après le Soleil, est Sirius, dans la constellation du grand Chien. Son éclat est 3,9 fois celui de Vega. Calculer sa magnitude apparente.
- La magnitude apparente du soleil est $-26,7$. Calculer le rapport entre l'éclat apparent du Soleil, E_{\odot} , et celui de Vega, E_0 .
- m et m' sont les magnitudes apparentes de deux étoiles d'éclat respectifs E et E' , montrer que : $m < m' \Leftrightarrow E > E'$.

Entre deux étoiles d'éclats différents, la plus brillante est celle qui a la plus petite magnitude.

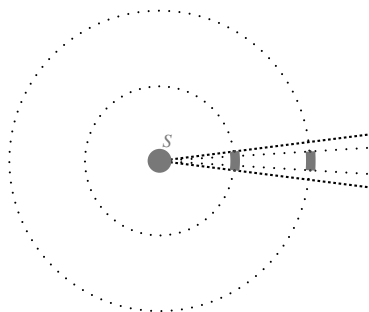
Magnitude absolue d'une étoile

Magnitude absolue d'une étoile

Quelques définitions...

Magnitude absolue d'une étoile

Quelques définitions...



Loi de Stephan-Boltzmann

Soit L la luminosité intrinsèque d'une étoile.

$$L = 4\pi\sigma \times R^2 \times T^4,$$

où

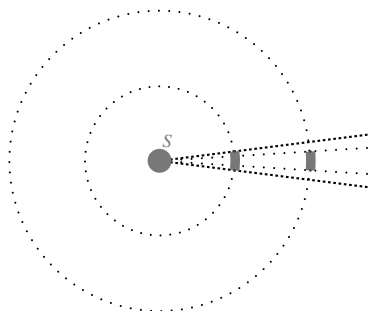
R est le rayon de l'étoile,

T sa température en Kelvin,

σ la constante de Boltzmann.

Magnitude absolue d'une étoile

Quelques définitions...



Loi de Stephan-Boltzmann

Soit L la luminosité intrinsèque d'une étoile.

$$L = 4\pi\sigma \times R^2 \times T^4,$$

où

R est le rayon de l'étoile,

T sa température en Kelvin,

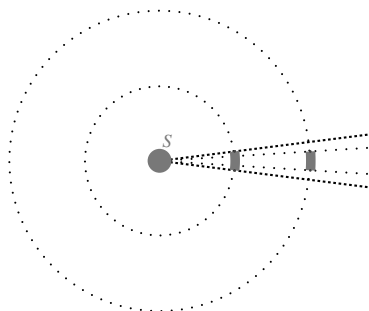
σ la constante de Boltzmann.

Pour une étoile située à une distance d de l'observateur, l'éclat de l'étoile est la quantité d'énergie qui arrive à la distance d par unité de temps et par unité de surface perpendiculaire à son rayonnement.

$$E = \frac{L}{4\pi d^2}.$$

Magnitude absolue d'une étoile

Quelques définitions...



Loi de Stephan-Boltzmann

Soit L la luminosité intrinsèque d'une étoile.

$$L = 4\pi\sigma \times R^2 \times T^4,$$

où

R est le rayon de l'étoile,

T sa température en Kelvin,

σ la constante de Boltzmann.

Pour une étoile située à une distance d de l'observateur, l'éclat de l'étoile est la quantité d'énergie qui arrive à la distance d par unité de temps et par unité de surface perpendiculaire à son rayonnement.

$$E = \frac{L}{4\pi d^2}.$$

Magnitude absolue d'une étoile

Magnitude absolue d'une étoile

Quelques définitions...

Magnitude absolue d'une étoile

Quelques définitions...

Une unité astronomique : le parsec.

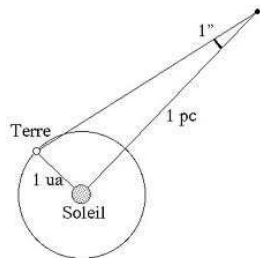
C'est la distance à laquelle on verrait l'unité astronomique sous un angle de 1 seconde d'arc.

Magnitude absolue d'une étoile

Quelques définitions...

Une unité astronomique : le parsec.

C'est la distance à laquelle on verrait l'unité astronomique sous un angle de 1 seconde d'arc.



$$\tan(1'') = \frac{1UA}{1pc}$$

$$1'' = \frac{1}{3600}^\circ$$

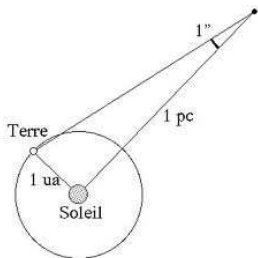
$$\frac{1}{3600} \times \frac{\pi}{180} = \frac{\pi}{648000} \simeq \frac{1}{206265}$$

Magnitude absolue d'une étoile

Quelques définitions...

Une unité astronomique : le parsec.

C'est la distance à laquelle on verrait l'unité astronomique sous un angle de 1 seconde d'arc.



$$\tan(1'') = \frac{1UA}{1pc}$$

$$1'' = \frac{1}{3600}^\circ$$

$$\frac{1}{3600} \times \frac{\pi}{180} = \frac{\pi}{648000} \simeq \frac{1}{206265}$$

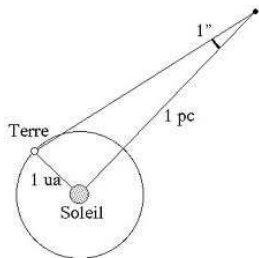
Donc $1''$ correspond à $\frac{1}{206265}$ radian.

Magnitude absolue d'une étoile

Quelques définitions...

Une unité astronomique : le parsec.

C'est la distance à laquelle on verrait l'unité astronomique sous un angle de 1 seconde d'arc.



$$\tan(1'') = \frac{1UA}{1pc}$$

$$1'' = \frac{1}{3600}^\circ$$

$$\frac{1}{3600} \times \frac{\pi}{180} = \frac{\pi}{648000} \simeq \frac{1}{206265}$$

Donc $1''$ correspond à $\frac{1}{206265}$ radian. Et en faisant l'approximation des petits angles :

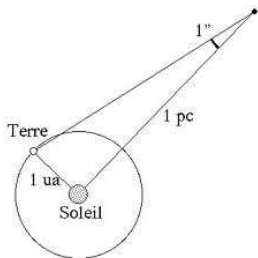
$$\begin{aligned} 1 \text{ pc} &= 206\,265 \text{ UA} \\ &= 3,1 \times 10^{16} \text{ m} \\ &= 3,26 \text{ al} \end{aligned}$$

Magnitude absolue d'une étoile

Quelques définitions...

Une unité astronomique : le parsec.

C'est la distance à laquelle on verrait l'unité astronomique sous un angle de 1 seconde d'arc.



$$\tan(1'') = \frac{1UA}{1pc}$$

$$1'' = \frac{1}{3600}^\circ$$

$$\frac{1}{3600} \times \frac{\pi}{180} = \frac{\pi}{648000} \simeq \frac{1}{206265}$$

Donc $1''$ correspond à $\frac{1}{206265}$ radian. Et en faisant l'approximation des petits angles :

$$\begin{aligned} 1 \text{ pc} &= 206\,265 \text{ UA} \\ &= 3,1 \times 10^{16} \text{ m} \\ &= 3,26 \text{ al} \end{aligned}$$

Magnitude absolue d'une étoile

Magnitude absolue d'une étoile

Pour comparer des luminosités intrinsèques d'étoiles : la magnitude absolue...

Magnitude absolue d'une étoile

Pour comparer des luminosités intrinsèques d'étoiles : la magnitude absolue...

Pour comparer la luminosité intrinsèque des étoiles, les astronomes utilisent *la magnitude absolue*.

Magnitude absolue d'une étoile

Pour comparer des luminosités intrinsèques d'étoiles : la magnitude absolue...

Pour comparer la luminosité intrinsèque des étoiles, les astronomes utilisent *la magnitude absolue*.

La magnitude absolue M d'une étoile est sa magnitude apparente à une distance de 10 pc.

Magnitude absolue d'une étoile

Pour comparer des luminosités intrinsèques d'étoiles : la magnitude absolue...

Pour comparer la luminosité intrinsèque des étoiles, les astronomes utilisent *la magnitude absolue*.

La magnitude absolue M d'une étoile est sa magnitude apparente à une distance de 10 pc.

Considérons une étoile de luminosité intrinsèque L .

Magnitude absolue d'une étoile

Pour comparer des luminosités intrinsèques d'étoiles : la magnitude absolue...

Pour comparer la luminosité intrinsèque des étoiles, les astronomes utilisent *la magnitude absolue*.

La magnitude absolue M d'une étoile est sa magnitude apparente à une distance de 10 pc.

Considérons une étoile de luminosité intrinsèque L .

L'éclat qu'on percevrait à 10 pc est : $\frac{L}{4\pi \times 10^2}$

Magnitude absolue d'une étoile

Pour comparer des luminosités intrinsèques d'étoiles : la magnitude absolue...

Pour comparer la luminosité intrinsèque des étoiles, les astronomes utilisent *la magnitude absolue*.

La magnitude absolue M d'une étoile est sa magnitude apparente à une distance de 10 pc.

Considérons une étoile de luminosité intrinsèque L .

L'éclat qu'on percevrait à 10 pc est : $\frac{L}{4\pi \times 10^2}$

Autrement dit : $M = -2,5 \log \left(\frac{L}{4\pi \times 10^2} \right) + k'$.

Magnitude absolue d'une étoile

Pour comparer des luminosités intrinsèques d'étoiles : la magnitude absolue...

Pour comparer la luminosité intrinsèque des étoiles, les astronomes utilisent *la magnitude absolue*.

La magnitude absolue M d'une étoile est sa magnitude apparente à une distance de 10 pc.

Considérons une étoile de luminosité intrinsèque L .

L'éclat qu'on percevrait à 10 pc est : $\frac{L}{4\pi \times 10^2}$

Autrement dit : $M = -2,5 \log \left(\frac{L}{4\pi \times 10^2} \right) + k'$.

Son éclat apparent donc sa magnitude apparente est liée à sa distance

Magnitude absolue d'une étoile

Pour comparer des luminosités intrinsèques d'étoiles : la magnitude absolue...

Pour comparer la luminosité intrinsèque des étoiles, les astronomes utilisent *la magnitude absolue*.

La magnitude absolue M d'une étoile est sa magnitude apparente à une distance de 10 pc.

Considérons une étoile de luminosité intrinsèque L .

L'éclat qu'on percevrait à 10 pc est : $\frac{L}{4\pi \times 10^2}$

Autrement dit : $M = -2,5 \log \left(\frac{L}{4\pi \times 10^2} \right) + k'$.

Son éclat apparent donc sa magnitude apparente est liée à sa distance

Son éclat apparent, si sa distance est d exprimée en parsec, vaut : $\frac{L}{4\pi d^2}$.

Magnitude absolue d'une étoile

Pour comparer des luminosités intrinsèques d'étoiles : la magnitude absolue...

Pour comparer la luminosité intrinsèque des étoiles, les astronomes utilisent *la magnitude absolue*.

La magnitude absolue M d'une étoile est sa magnitude apparente à une distance de 10 pc.

Considérons une étoile de luminosité intrinsèque L .

L'éclat qu'on percevrait à 10 pc est : $\frac{L}{4\pi \times 10^2}$

Autrement dit : $M = -2,5 \log \left(\frac{L}{4\pi \times 10^2} \right) + k'$.

Son éclat apparent donc sa magnitude apparente est liée à sa distance

Son éclat apparent, si sa distance est d exprimée en parsec, vaut : $\frac{L}{4\pi d^2}$.

Sa magnitude apparente vaut : $m = -2,5 \log \left(\frac{L}{4\pi d^2} \right) + k'$

Magnitude absolue d'une étoile

Pour comparer des luminosités intrinsèques d'étoiles : la magnitude absolue...

Pour comparer la luminosité intrinsèque des étoiles, les astronomes utilisent *la magnitude absolue*.

La magnitude absolue M d'une étoile est sa magnitude apparente à une distance de 10 pc.

Considérons une étoile de luminosité intrinsèque L .

L'éclat qu'on percevrait à 10 pc est : $\frac{L}{4\pi \times 10^2}$

Autrement dit : $M = -2,5 \log \left(\frac{L}{4\pi \times 10^2} \right) + k'$.

Son éclat apparent donc sa magnitude apparente est liée à sa distance

Son éclat apparent, si sa distance est d exprimée en parsec, vaut : $\frac{L}{4\pi d^2}$.

Sa magnitude apparente vaut : $m = -2,5 \log \left(\frac{L}{4\pi d^2} \right) + k'$

Magnitude absolue d'une étoile

Magnitude absolue d'une étoile

le module de distance

Magnitude absolue d'une étoile

le module de distance

Le module de distance est la différence $m - M$.

Magnitude absolue d'une étoile

le module de distance

Le module de distance est la différence $m - M$.

Un peu de calcul encore :

$$m - M =$$

Magnitude absolue d'une étoile

le module de distance

Le module de distance est la différence $m - M$.

Un peu de calcul encore :

$$\begin{aligned}m - M &= -2,5 \log \left(\frac{L}{4\pi d^2} \right) + 2,5 \log \left(\frac{L}{4\pi \times 10^2} \right) \\ &= 2,5 \log \left(\frac{d^2}{10^2} \right) \\ &= 5 \log \left(\frac{d}{10} \right) = 5 \log(d) - 5.\end{aligned}$$

Magnitude absolue d'une étoile

le module de distance

Le module de distance est la différence $m - M$.

Un peu de calcul encore :

$$\begin{aligned}m - M &= -2,5 \log \left(\frac{L}{4\pi d^2} \right) + 2,5 \log \left(\frac{L}{4\pi \times 10^2} \right) \\ &= 2,5 \log \left(\frac{d^2}{10^2} \right) \\ &= 5 \log \left(\frac{d}{10} \right) = 5 \log(d) - 5.\end{aligned}$$

On appelle module de distance la différence :

Magnitude absolue d'une étoile

le module de distance

Le module de distance est la différence $m - M$.

Un peu de calcul encore :

$$\begin{aligned}m - M &= -2,5 \log \left(\frac{L}{4\pi d^2} \right) + 2,5 \log \left(\frac{L}{4\pi \times 10^2} \right) \\ &= 2,5 \log \left(\frac{d^2}{10^2} \right) \\ &= 5 \log \left(\frac{d}{10} \right) = 5 \log(d) - 5.\end{aligned}$$

On appelle module de distance la différence :

$$m - M = 5 \log(d) - 5 \text{ où } d \text{ est la distance de l'étoile en pc.}$$

Magnitude absolue d'une étoile

le module de distance

Le module de distance est la différence $m - M$.

Un peu de calcul encore :

$$\begin{aligned}m - M &= -2,5 \log \left(\frac{L}{4\pi d^2} \right) + 2,5 \log \left(\frac{L}{4\pi \times 10^2} \right) \\ &= 2,5 \log \left(\frac{d^2}{10^2} \right) \\ &= 5 \log \left(\frac{d}{10} \right) = 5 \log(d) - 5.\end{aligned}$$

On appelle module de distance la différence :

$$m - M = 5 \log(d) - 5 \text{ où } d \text{ est la distance de l'étoile en pc.}$$

Magnitude absolue d'une étoile

Magnitude absolue d'une étoile

Calcul de distances...

Magnitude absolue d'une étoile

Calcul de distances...

- Vérifier que les données fournies sur Véga vérifient la formule du module de distance .

Magnitude absolue d'une étoile

Calcul de distances...

- Vérifier que les données fournies sur Véga vérifient la formule du module de distance .
- Exprimer d en fonction de μ .

Magnitude absolue d'une étoile

Calcul de distances...

- Vérifier que les données fournies sur Véga vérifient la formule du module de distance .
- Exprimer d en fonction de μ .
- On donne (données Stellarium) :

magnitude	absolue	apparente
Aldebaran	-0.70	0.85
Betelgeuse	-5.47	0.45
Capella	-0.54	0.05

A partir de ces données, calculer les distances de ces étoiles en parsec.

Magnitude absolue d'une étoile

Calcul de distances...

- Vérifier que les données fournies sur Véga vérifient la formule du module de distance .
- Exprimer d en fonction de μ .
- On donne (données Stellarium) :

magnitude	absolue	apparente
Aldebaran	-0.70	0.85
Betelgeuse	-5.47	0.45
Capella	-0.54	0.05

A partir de ces données, calculer les distances de ces étoiles en parsec.

Magnitude absolue d'une étoile

Magnitude absolue d'une étoile

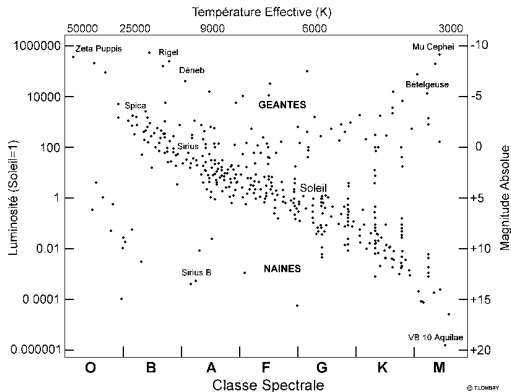
Le diagramme HR...

Magnitude absolue d'une étoile

Le diagramme HR...

Hertzsprung, astronome danois (1873-1976) classe les étoiles d'un même type spectral en fonction de leur luminosité.

Russell, astronome américain (1877- 1957), améliore cette classification des étoiles en fonction de leur luminosité et de leur type spectral.



On place les étoiles dans le diagramme précédent