

Les oscillations des étoiles céphéides : une propriété de surface pour explorer les limites de l'univers.

Introduction.

I. Qu'est-ce qu'une céphéide ?

- a. Céphéide : une étoile variable pas comme les autres.
- b. La place particulière des céphéides dans le diagramme HR.
- c. Détermination de la période des Céphéide par le mécanisme kappa.

II. Détermination de la distance des galaxies grâce aux Céphéides.

- a. Différentes méthodes de mesure des distances en astronomie.
- b. Méthode des céphéides.
 - Méthode.
 - Intérêt.
 - Limitations.
 - Amélioration de la méthode.

Conclusion

Qu'est-ce qu'une céphéïde ?

Céphéïde : une étoile variable pas comme les autres.

- Les différentes étoiles variables.
- Grande luminosité des céphéïdes.
- Masse élevée (plus de $3M_{\odot}$)
- Oscillations stables et rapides des céphéïdes.
- Relation magnitude/période caractéristique :

$$m_v = a \log P + b$$

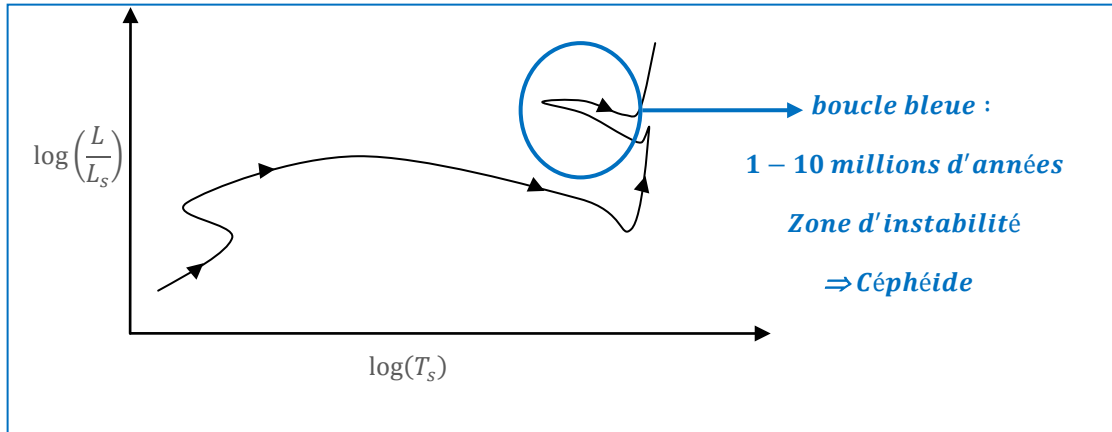
Qu'est-ce qu'une céphéïde ?

La place particulière des Céphéïdes dans le diagramme HR.

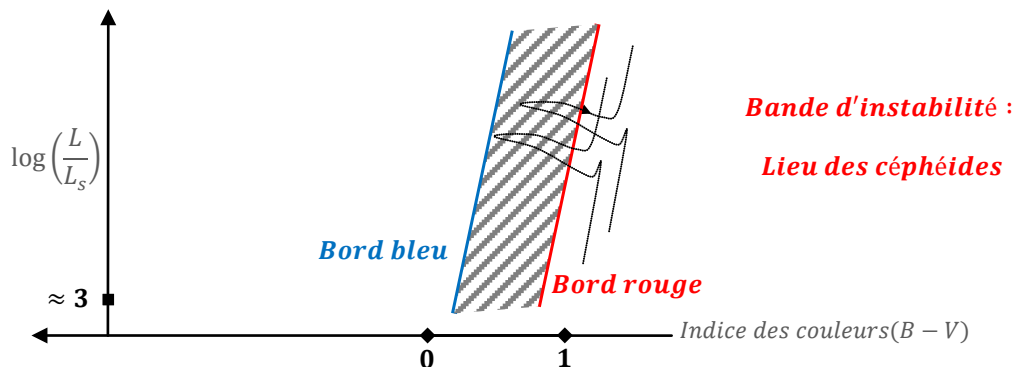
■ Présentation du diagramme HR : (luminosité, T_s)

- Diagramme expérimental.
- Modélisations.

■ Evolution temporelle d'une étoile massive dans le diagramme HR



■ La bande d'instabilité : où trouver le céphéïdes dans le diagramme HR ?



Modélisation des oscillations des Céphéides.

Le mécanisme Kappa : Oscillations de relaxation.

- **Modélisation de l'onde acoustique** : chaîne d'oscillateurs.
⇒ Nécessité d'entretenir les oscillations.
- **Oscillations de relaxation** : C'est la dépendance de κ avec l'ionisation des couches externes qui entretient les oscillations.
 - Dilatation des couches externes :
⇒ L'ionisation \searrow ⇒ κ \searrow ⇒ l'énergie reçue \searrow
⇒ Contraction.
 - Contraction des couches externes :
⇒ L'ionisation \nearrow ⇒ κ \nearrow ⇒ l'énergie reçue \nearrow
⇒ Dilatation.
- **Compétition entre le mécanisme κ et l'amortissement naturel des oscillations** :
 - Forte dépendance de κ avec la température de surface.
 - Existence d'une température critique pour que ce mécanisme puisse prédominer.

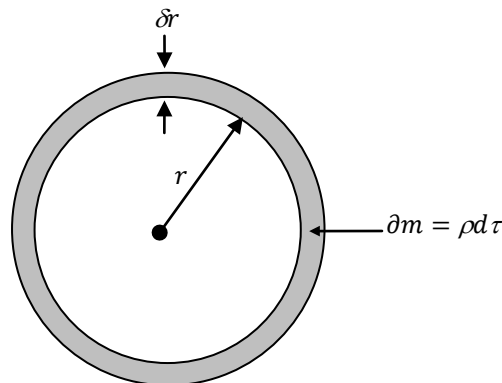
Modélisation des oscillations des Céphéides.

Détermination des périodes propres : Méthode des perturbations.

- **Equation de départ** : PFD appliqué à une particule fluide.

$$\rho d\tau \frac{d\vec{v}}{dt} = \sum_i \vec{F}_i^* d\tau$$

$$\Rightarrow \text{Projection sur } \vec{e}_r : \rho d\tau \frac{\partial^2 r}{\partial t^2} = -\frac{\partial P}{\partial r} d\tau - \frac{Gm\partial m}{r^2}$$



- **Equilibre hydrostatique** : $0 = -\frac{\partial P_o}{\partial r_o} d\tau - \frac{Gm\partial m}{r_o^2}$

$$\Rightarrow \text{Avec } d\tau = 4\pi r_o^2 \partial r_o, \text{ on obtient : } \frac{\partial P_o}{\partial m} = -\frac{Gm}{4\pi r_o^4}$$

- **1^{er} ordre de perturbation** : $X = X_o + \delta X$

$$\Rightarrow (\rho_o + \delta\rho) d\tau \frac{\partial^2 (r_o + \delta r)}{\partial t^2} = -\frac{\partial (P_o + \delta P)}{\partial (r_o + \delta r)} d\tau - \frac{Gm\partial m}{(r_o + \delta r)^2} \quad \text{Avec } d\tau = 4\pi r_o^2 \partial r_o$$

En remplaçant $Gm\partial m$ par $-4\pi r_o^4 \partial P_o$ et en ne gardant que les termes d'ordre 1, on obtient :

$$\Rightarrow \rho_o \frac{\partial^2 (\delta r)}{\partial t^2} = -\frac{\partial P_o}{\partial r_o} \left(4 \frac{\delta r}{r_o} + \frac{\delta P}{P_o} \right) - P_o \frac{\partial \left(\frac{\delta P}{P_o} \right)}{\partial r_o}$$

- En rajoutant des équations thermodynamiques, on obtient un système d'équations différentielles linéaires que l'on peut résoudre.

\Rightarrow **Détermination de P.**

Détermination de la distance des galaxies grâce aux Céphéïdes.

Méthodes des Céphéïdes.

- On repère une Céphéïde dans la galaxie.
- On mesure la magnitude relative de la Céphéïde (m_v)
- On mesure la période des oscillations de la céphéïde (P)
⇒ Courbes de Lumière.
- On en déduit la magnitude absolue : $M_V = -2.81 \log P - 1.43$
- On déduit le module de la distance : $\mu_v = m_v - M_v$
- On en déduit enfin la distance grâce à $\mu_v = 5(\log d - 1)$

Intérêt de la méthode.

- Précise, elle prend le relais du parallaxe quand $d \geq 100pc$
- Grands succès : Mesure de la distance de M31 et confirmation de l'expansion de l'univers.

Limites de la méthode.

- Ne peut être utilisée que si $d \leq 10 Mpc$
- Présence de Céphéïde obligatoire dans la galaxie.

Amélioration de la méthode.

- Améliorer la précision de la relation entre M_v et P
⇒ Déterminée grâce au petit nuage de Magellan, elle est toujours étudiée aujourd'hui.
- Utilisation de cette relation dans d'autres domaines spectraux
⇒ Utilisation de la bande IR

Conclusion

- L'étude est céphéides : un enjeu scientifique important pour les mesures de distances en astronomie
⇒ Amélioration de la précision de la relation (M_v, P)
- L'étude du mécanisme des oscillations est n'est pas achevée.
⇒ Améliorer le modèle.