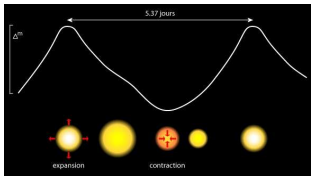
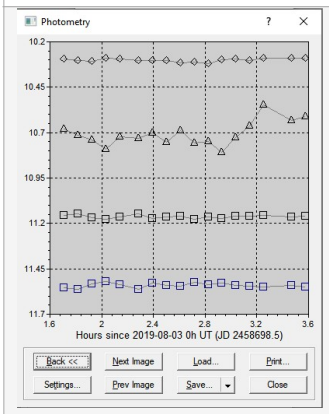
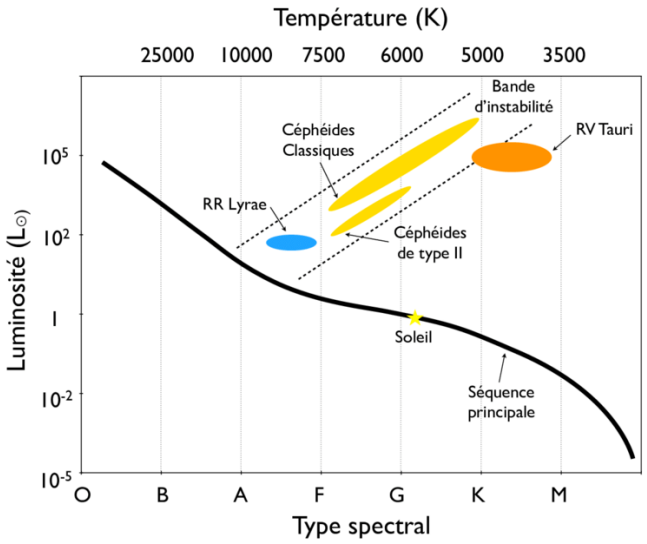
Les Céphéides : Calculer les distances grâce aux pulsations d'une étoile (module de distance)
Jean-Bruno Desrosiers - Décembre 2020

Les Céphéides et les pulsantes intrinsèques. Elles semblent vivre et battre comme un cœur au repos...		Henrietta Swan Leavitt (1868-1921), qui a percé leurs mystères, a pu trouver une méthode d'évaluation des distances.	
	Elles ont permis à Edwin Hubble de comprendre que la grande « nébuleuse» d'Andromède était une galaxie hors de notre propre galaxie. Magie!		En fait... non. Les Céphéides sont en réalité un passage, une phase que certaines étoiles traversent. Leurs fusions en leurs cœurs créent des pulsations de ses couches supérieures.

Une Céphéide est une étoile de 4 à 15 fois plus massive que le Soleil et de 100 à 30 000 fois plus lumineuse, dont l'éclat varie de 0,1 à 2 magnitudes selon une période bien définie, comprise entre 1 et 135 jours. Elles ont quitté la séquence principale et traversent la bande d'instabilité due à son hélium qui devient prédominant dans son cœur et qui commence à produire du carbone ce qui provoque ces pulsations si régulières.

Au cours de son cheminement, elle fera des passages d'un côté et de l'autre du diagramme HR.

Le mystère de la fréquence de ces pulsations réside aussi dans leurs volumes, car plus elles sont lumineuses, plus leurs pulsations seront lentes.





C'est à Arthur Eddington (1926) que l'on doit l'explication de ces pulsations baptisées par l'effet de «Valve d'Eddington».

C'est grâce à l'hélium que les Céphéides pulsent régulièrement. L'hélium dégradé dans le cœur de l'étoile est ionisé plusieurs fois ce qui la rend plus opaque. La chaleur reste alors captive.

Un cycle prend alors forme, plus l'étoile se compresse et donc se réchauffe.

«À un moment donné, lors de son expansion, elle se refroidit et tend à reprendre sa forme première et le cycle recommence. La fréquence dépend de la masse de l'étoile, plus elle est petite, plus la fréquence sera rapide et l'inverse quand sa masse est plus grande.

C'est avec des tables statistiques basé selon leurs fréquences de pulsation que l'on peut obtenir simplement en les observant. Leurs fréquences sont directement reliées à la masse de l'étoile cible qui est le produit de sa masse volumique moyenne ρ, par son volume ($M = \rho V$).

Donc, à partir de ces tables statistiques et de leurs magnitudes apparentes (en filtre V), on peut en déduire leurs magnitudes absolues. Il ne restera plus qu'à appliquer le calcul du

module de distance qui nous donnera alors la distance de l'étoile. Les Céphéides sont donc des indicateurs de distance très cool, aussi appelés "chandelles standards".

*Une attention doit être portée, car d'autres variables pulsantes sont aussi dans la bande d'instabilité : W Virginis (Céphéides type II) et les RR Lyrae.

Ce sont des Céphéides aussi, mais de type II, autrement dit, de vieilles étoiles avec taux plus faible de métaux et généralement moins massives que les Céphéides de type I. Périodes plus longues et souvent on les rencontre dans les amas globulaires. Les RR Lyræ ont pour leur part des périodes beaucoup plus courtes, et dont le type spectral est A pour la plupart. On les rencontre la plupart du temps dans les amas d'étoiles (M3, M13...)»

Toutes ces familles de «pulsantes intrinsèques» ont toutes un point en commun, elles sont des chandelles utilisables pour calculer les distances selon leurs fréquences de pulsations.

Aussi, quelques faits intéressants sur les Céphéides qui sont dans les 100 milliards d'étoiles de notre Galaxie :

- Les Céphéides sont peu nombreuses ~ 1000 Céphéides répertoriées actuellement
- Mais environ 20000 à 35000 Céphéides suspectées
- 5000 et + pourraient être découvertes par la mission Gaia de l'ESA
- 40 Céphéides seraient visibles à l'œil nu (parmi les 6000 étoiles)
- L'Étoile Polaire est la Céphéide la plus proche de nous et la plus brillante (431 a.l.)
https://fr.wikipedia.org/wiki/Alpha_Ursae_Minoris

Comment utiliser le module de distance pour les céphéides de type classique (DCEP)?

1- Il faut la magnitude observée en filtre «V»
2- Il faut la fréquence en jour, car on peut alors avoir la magnitude absolue (magnitude de l'étoile vue à 10 parsecs de nous) grâce à un calcul : Mv ≃-2,76 log10 Pd - 1,40.

*Il y a aussi un site qui facilite ce genre de calcul :
http://eguruchela.com/physics/calculator/Absolute-Visual-Magnitude-of-Cepheid-Variables-Calculator

3- À partir de là, on peut obtenir la distance mathématiquement grâce au module de distance.

Par exemple :

Prenons une céphéide connue : RX Cam, sa variation est de 7,3 - 8,07 en filtre V. Selon le VSX de l'AAVSO, cette céphéide à une période de 79120 jours. Selon mes observations en filtre V, j'obtiens une moyenne de magnitude apparente de 7904. Ma formule sera alors : d (en PC) =

Donc :	Donc :	Donc :	Donc :
$10 \cdot \left(\frac{m - M + 5}{5}\right)$	$10 \cdot \left(\frac{7.904 - (-3.87927) + 5}{5}\right)$	$10 \cdot \left(\frac{7.904 + 3.87927 + 5}{5}\right)$	$10^{3.356654}$

22732856 PC X 3.26 (pour la conversion en années-lumière)= 7410911 AL

Bien sûr, ce calcul n'est qu'approximatif et les critères de qualité photométrique doivent être bien appliqués sur plusieurs observations et plusieurs observatoires. Son type d'étoiles est d'abord une «variable», donc à moins de disposer de matériel professionnel, on peut donc difficilement arriver avec un chiffre précis. Mais on peut quand même considérer cette approche mathématique comme très «intéressante».

De plus, ce module de distance peut s'appliquer aux étoiles RR Lyrae, car on sait qu'en moyenne, ces étoiles ont une magnitude absolue relativement stable variant entre 0,6 et 0,7.

Même les supernovas de type 1a qui sont reconnues pour avoir une magnitude absolue de -19,3 (à 1/4 de magnitude près), car le mécanisme qui la produit est dû à un seuil de masse et elles peuvent donc aussi profiter de ce module afin de connaître leurs distances lors que l'on est au tout début de l'évènement, enfin à son maximum.

En fait, ce qu'il faut retenir, c'est qu'avec le simple calcul du module de distance, dès qu'on a la magnitude absolue (magnitude d'une étoile à 10 parsecs) et la magnitude précise (en filtre V), on peut obtenir une distance.

Encore une fois, pour une certaine précision, il faut prendre plusieurs relevés, et ce, par plusieurs observateurs et l'on fait une moyenne. Mais c'est tout de même une autre curiosité à expérimenter!

Références :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Henrietta_Swan_Leavitthttps://fr.wikipedia.org/wiki/Expansion_de_l%27Univers

https://astronomia.fr/3eme_partie/variables/varPeriodiques.php

http://www.astrosurf.com/saml/ACCUEIL_suite_1_files/Diaporama%20ce%CC%81phe%CC%81ides_version%20finale_20170715.pdf

https://astronomia.fr/3eme_partie/etoiles_java/calculette.php# :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Module_de_distance

https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/astronomie-cepheide-6438/

Sylvie Beaulieu, responsable de l'Observatoire du Mont-Mégantic : http://omm.craq-astro.ca/