

AVEC NOS ÉLÈVES

Simulation de la relation Période-Luminosité des céphéïdes

Georges Paturel, observatoire de Lyon

Le but est de montrer que l'on peut déterminer la distance d'un objet inaccessible en utilisant une relation physique. Pour cela nous simulons des céphéïdes (étoiles dont l'éclat varie avec une période fonction de leurs propriétés intrinsèques) par des pendules simples de longueurs quelconques (et dont la période d'oscillation varie en fonction de leurs longueurs, comme on le sait).

Le principe

On place quelques pendules simples à des distances connues, mais assez petites pour pouvoir être déterminées par la méthode des parallaxes. Ce seront les "Céphéïdes" de notre Galaxie. D'autres pendules seront placés à plus grande distance. Ce seront les céphéïdes de galaxies plus lointaines dont nous cherchons à déterminer les distances. Au début de l'exercice, nous ne connaissons pas ces distances.

Nous nous mettrons dans la peau de l'astronome, qui ne peut pas approcher les objets qu'il étudie. Cependant les distances des céphéïdes galactiques seront connues, car comme elles sont proches, on peut avoir leurs distances par triangulation.

Une photographie nous donnera la possibilité de mesurer la longueur apparente des pendules (il faut une même photo ou plusieurs photos prises exactement dans les mêmes conditions). Les périodes d'oscillation peuvent être mesurées sans s'approcher des pendules.

Les mesures

Céphéïdes galactiques

(Pendules dont on connaît la distance D).

nom	P	distance D connue	E*
G1	0,6 s	3365 mm	20,0
G2	0,8	2085	64,0
G3	0,9	3950	40,8
G4	0,9	3105	48,5
G5	0,9	3580	43,3
G6	1,1	2640	86,0

Céphéïdes extragalactiques

(Pendules dont on cherche la distance).

nom	P	E*	D à trouver !
E1	0.94s	19.5	8900 mm
E2	1.03	25.5	8170
E3	1.11	26.3	9260
E4	1.09	29.8	7700

* E désigne les longueurs apparentes des pendules en unités arbitraires (mesure sur la photo).

Transposition des définitions

Nous appellerons "*magnitude apparente*" m le logarithme de la longueur apparente E du pendule dans une unité arbitraire (par exemple la longueur sur la photo en mm). $M = \log E$. La longueur apparente varie comme l'inverse de la distance :

$$E = E_0/D \quad (D \text{ en mm}).$$

$$\text{Donc : } m = \log E = \log E_0 - \log D.$$

Nous définirons la "*magnitude absolue*" M comme étant la magnitude apparente à une distance de 1 mm. $M = \log E_0 - \log(1) = \log E_0$

M correspond à la longueur vraie du pendule.

Nous avons donc la relation : $m = M - \log D$. Nous pourrions poser $\mu = -\log D$ et désigner cette quantité comme étant le "*module de distance*", car sa connaissance nous donne la distance D . Nous avons donc la relation simple : $\mu = m - M$ (1)

Application

Nous mesurons les longueurs apparentes E de tous les pendules, sur la photo. Nous les avons mesurées en mm (l'unité importe peu ; nous aurions pu les mesurer en inch, ou en pieds !) ; l'échelle de la

photo n'a pas d'importance. Nous mesurons, de loin, les périodes P en secondes. Nous calculons pour les "céphéides galactiques" les magnitudes absolues M à partir de m et D. Nous calculons avec un tableur la régression linéaire en logarithmes, comme le laisse supposer la théorie du pendule simple (voir figure 1) :

$$M = 1,99 \log P + 5,28. \quad (2)$$

Notons que la pente est à peu près conforme à la théorie (on attendait 2).

Ensuite pour les "céphéides extra-galactiques", nous supposons implicitement l'uniformité des lois de la nature en calculant M par la relation (2) avec les périodes mesurées. Avec m et M nous trouvons alors la distance D.

Nous comparons alors les distances trouvées à celles qu'il fallait trouver (aimablement communiquées par le "Créateur"). L'accord est à peu près satisfaisant.

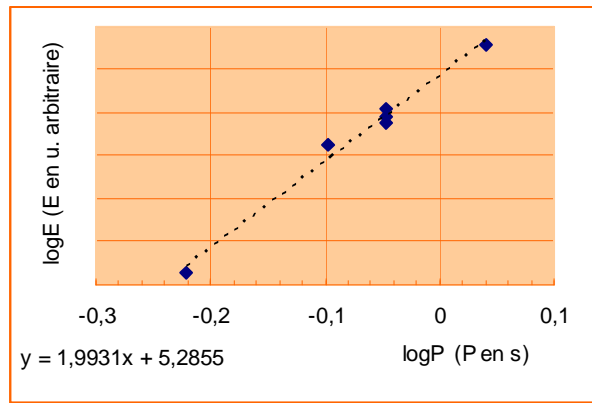


Fig.1. Droite de régression donnant les longueurs vraies des pendules "galactiques" en fonction de leurs périodes en échelle logarithmique.

Domage que dans la nature nous ne puissions pas demander au créateur si nos résultats sont corrects ! Autres remarques, si la loi exacte du pendule simple est connue, un seul pendule de calibration suffit. Enfin, la loi exacte cherchée peut se trouver en observant des objets situés à une même distance inconnue (par exemple dans un amas).

Tableau 1 : Les résultats : *En rouge les mesures. En vert les distances à trouver pour les Céphéides extragalactiques. En bleu, les distances qu'il fallait trouver pour ces mêmes Céphéides extragalactiques.*

nom	E	m = logE	logP (P en s)	D connue (mm)	M = m + logD
G1	20,0	1,301	-0,222	3365	4,828
G2	64,0	1,806	-0,097	2085	5,125
G3	40,8	1,611	-0,046	3950	5,207
G4	48,5	1,686	-0,046	3105	5,178
G5	43,3	1,636	-0,046	3580	5,190
G6	86,0	1,934	0,041	2640	5,356

nom	E	m = logE	logP (P en s)	M = a logP + b	logD = M-m	D (en mm)	D vraie (mm)
E1	19,5	1,290	-0,027	5,232	3,942	8743	8900
E2	25,5	1,407	0,013	5,311	3,905	8033	8170
E3	26,3	1,420	0,045	5,375	3,955	9021	9260
E4	29,8	1,474	0,037	5,359	3,885	7674	7700



Fig.2. Le terrain expérimental (les pendules sont difficiles à voir).