

Avec nos élèves

Simulation de la relation Période- Luminosité des Céphéides

G. Paturel

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 Céphéides (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 "Céphéides" de notre Galaxie. D'autres pendules seront placés à plus grande distance. Ce seront les Céphéides 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 Céphéides 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

Céphéides galactiques

(Pendules dont on connaît la distance D).

nom	P	distance D connue	E*
G1	0.6s	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

Céphéides extragalactiques

(Pendules dont on cherche la distance en appliquant la relation $M = a \log P + b$).

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 : $E = E_0/D$ (D en mm). 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 pouvons 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 la régression $M = \alpha \cdot \log P + \gamma$. La régression linéaire faite avec un tableur donne (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 d'après la théorie du pendule simple).

Ensuite pour les "Céphéides extragalactiques", 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 .

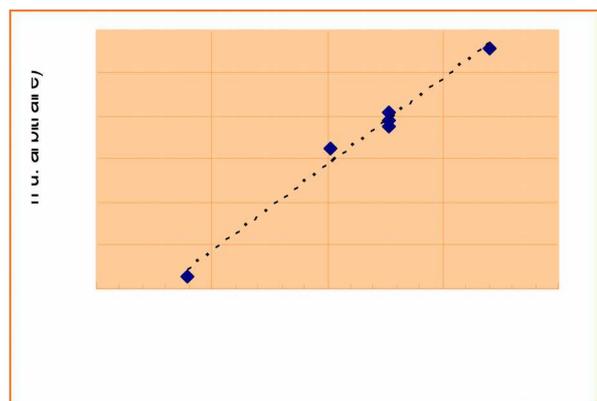


Figure 1 : Droite de régression donnant les longueurs apparentes des pendules "galactiques" en fonction du logarithme de leurs périodes

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

Domage que dans la nature nous ne puissions pas demander au créateur si nos résultats sont corrects ! ■

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	5.2317	3.9417	8743	8900	
E2	25.5	1.407	0.013	5.3114	3.9049	8033	8170	
E3	26.3	1.420	0.045	5.3752	3.9552	9021	9260	
E4	29.8	1.474	0.037	5.3592	3.8850	7674	7700	



Figure 2 : *Le terrain expérimental*