

La comète de Halley

Michel Bonin, enseignant en sciences physiques

Les deux activités qui suivent peuvent être réalisées en travaux pratiques en classe de Terminale S quand les lois de Kepler, les notions de vitesse et d'accélération, ainsi que la seconde loi de Newton, sont abordées. Vous trouverez les solutions sur le site du CLEA

Activité 1 :

Kepler et la comète de Halley

a. Objectif

Vérifier les trois lois de Kepler à partir de la trajectoire de la comète de Halley de 1938 à 2012.

b. Prérequis

Savoir que le périhélie est le point de l'orbite le plus proche du Soleil et que l'aphélie est le point de l'orbite le plus éloigné du Soleil.

Savoir que l'unité astronomique (ua) représente la distance Terre-Soleil (1 ua \approx 150 millions de km)

c. Lois de Kepler

La trajectoire de la comète de Halley a été tracée sur le document 1. On a placé la comète le 1^{er} janvier de chaque année, de 1938 à 2013.

Première loi : loi des orbites (1609)

- Placer le périhélie P et l'aphélie A sur l'orbite de la comète $a = PA/2$.
- Mesurer le segment PA et en déduire le demi grand axe a de l'orbite de la comète.
- Placer le point O au milieu de [PA] et S' symétrique de S par rapport à O.
- Mesurer le segment [OS].

- Calculer l'excentricité e de l'orbite de la comète ($e = OS / a$)
- Soit M un point quelconque de la trajectoire. Vérifier que $SM + S'M = 2a$ (propriété de l'ellipse).
- Conclure en énonçant la première loi de Kepler.

Deuxième loi : loi des aires (1609)

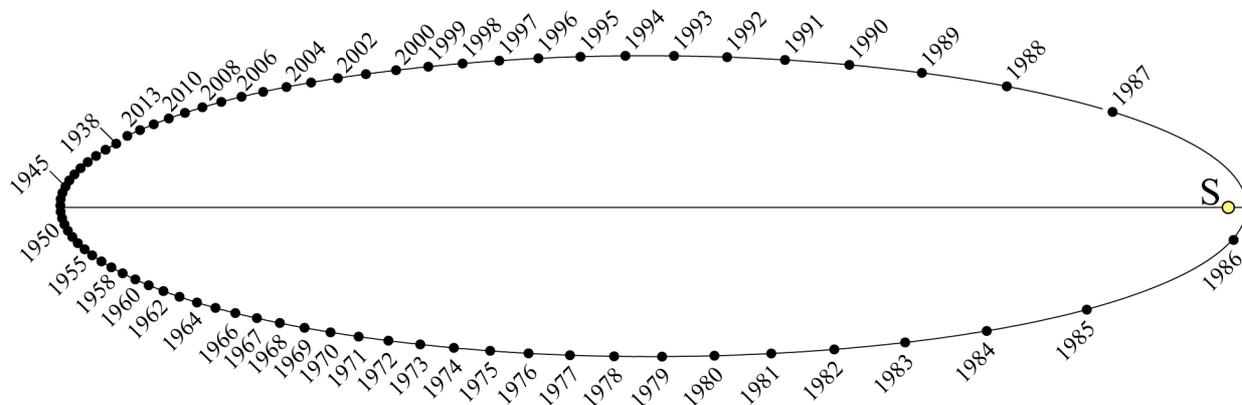
- Découper les contours des surfaces limitées par deux segments Soleil - comète et par la trajectoire de la comète. On prendra à chaque fois deux positions de la comète espacées de 15 ans comme (1945, 1960), (1970, 1985) et (1987, 2002).
- À l'aide d'une balance électronique, peser les différentes surfaces.
- Conclure en énonçant la deuxième loi de Kepler.

Troisième loi : loi des périodes (1618)

- En exprimant a en unité astronomique et T en année, calculer la valeur du rapport k suivant pour la Terre.

$$k = a_T^3 / T_T^2$$

- Vérifier que $a_C^3 / T_C^2 = k$ pour la comète.
- Conclure en énonçant la troisième loi de Kepler.



Document 1. Positions de la comète de Halley du 1^{er} janvier 1938 au 1^{er} janvier 2013 (données IMCCE). Sur ce graphique, 1 cm représente 2,2 unités astronomiques.

Activité 2 : Gravitation et comète

a. Objectif

Vérifier la loi de la gravitation universelle de Newton à partir d'une portion de la trajectoire de la comète de Halley, celle située à proximité du Soleil, et calculer la masse du Soleil.

b. Prérequis

- Savoir que le périhélie est le point de l'orbite le plus près du Soleil.
- Savoir tracer des vecteurs vitesse sur une trajectoire et savoir déterminer les vecteurs accélération⁽¹⁾ à partir de ces vecteurs vitesse.
- Savoir que l'anomalie vraie (a_v) est l'angle orienté déterminé par les vecteurs Soleil-périhélie et Soleil-comète. Cet angle est négatif avant le passage au périhélie et positif après.

c. Travail

Il conviendra d'utiliser une partie des données du document 2 et le document 3 pour réaliser l'activité.

- À partir du tracé des deux vecteurs vitesse \vec{V}_{t-5} et \vec{V}_{t+5} aux instants $t-5$ et $t+5$, construire le vecteur $\Delta\vec{V}_{t=5} = \vec{V}_{t+5} - \vec{V}_{t-5}$ à partir du point n° t (t est en jours).

Échelle : 1 cm \leftrightarrow 10 km.s⁻¹. Faire les constructions pour les positions 10, 30, 50 et 70.

- Calculer puis construire le vecteur accélération

$$a_t = (\vec{V}_{t+5} - \vec{V}_{t-5}) / 2\Delta t = \Delta\vec{V}_v / 2\Delta t$$

Échelle : 1 cm \leftrightarrow 4.10⁻³ m.s⁻²

- Compléter le tableau suivant

t (jours)	10	30	50	70
ΔV_t (km.s ⁻¹)				
ΔV_t (m.s ⁻¹)				
2 Δt (j)				
2 Δt (s)				
a_t (m.s ⁻²)				

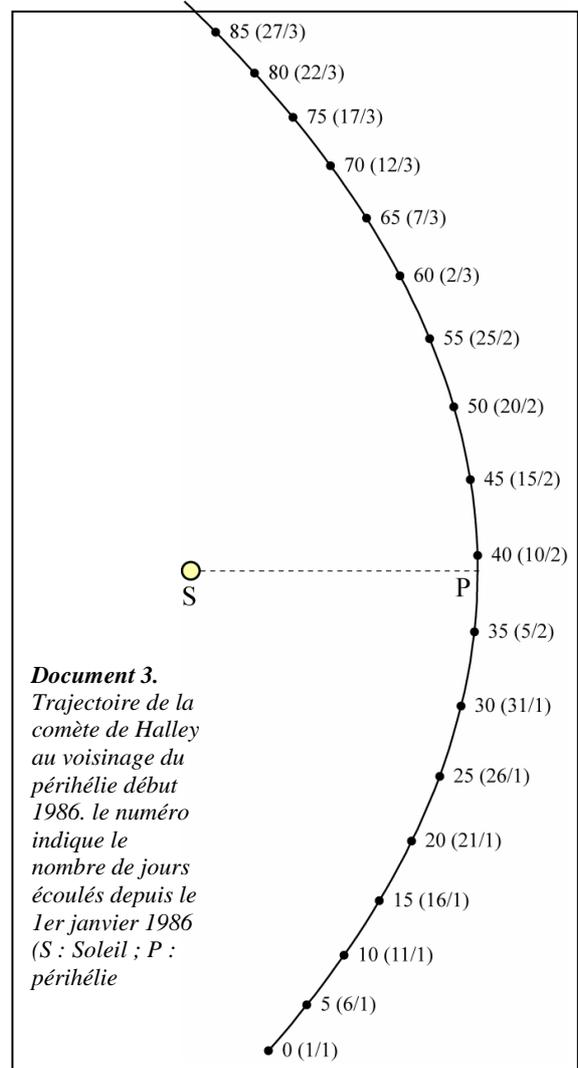
- Dans le référentiel de Copernic, appliquer la

seconde loi de Newton à la comète. Que peut-on dire de la force à laquelle elle est soumise (direction et sens) ? Conclure.

- Représenter l'accélération a_t en fonction de $1/r^2$, où r est la distance de la comète au Soleil.

Montrer qu'à partir de ce résultat on peut calculer la masse M_S du Soleil. La calculer.

Donnée : constante de la gravitation universelle $G = 6,67259 \cdot 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$



Document 3.

Trajectoire de la comète de Halley au voisinage du périhélie début 1986. le numéro indique le nombre de jours écoulés depuis le 1er janvier 1986 (S : Soleil ; P : périhélie)

t (jours)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
distance au Soleil (ua)	0,9991	0,9234	0,85	0,7803	0,7164	0,6615	0,6192	0,5936	0,5876
vitesse (km.s ⁻¹)	41,55	43,27	45,14	47,16	49,26	51,31	53,06	54,22	54,5
anomalie vraie (°)	-80,84	-75,1	-68,35	-60,36	-50,87	-39,66	-26,69	-12,2	3,07

t (jours)	45	50	55	60	65	70	75	80	85
distance au Soleil (ua)	0,602	0,6351	0,6831	0,7421	0,8087	0,8802	0,9548	1,031	1,1081
vitesse (km.s ⁻¹)	53,83	52,39	50,48	48,39	46,31	44,34	42,53	40,88	39,39
anomalie vraie (°)	18,13	32,05	44,3	54,76	63,6	71,05	77,35	82,73	87,37

Document 2. La comète de Halley au moment du passage au périhélie en 1986 ; 1 ua (unité astronomique) = 149 597 870 000 m

(1) Il s'agit bien évidemment d'une approximation.