

# Licence 3

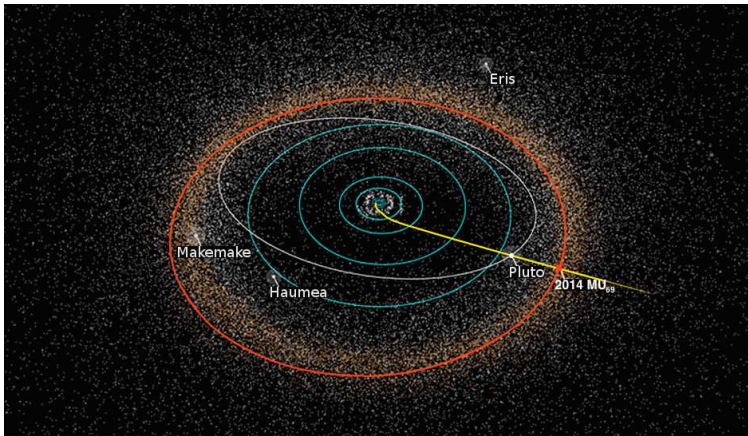
## Astrophysique – Gravitation

H. Beust

19 mars 2019

Calculatrices autorisées – 1 feuille recto-verso A4

### I La sonde New Horizons



*New Horizons* est une sonde de la NASA lancée depuis Cap Canaveral le 19 janvier 2006, et dont l'objectif principal est l'étude de la planète naine Pluton et ses satellites (objectif réalisé en juillet 2015). Après de légères modifications de trajectoire, elle a pu explorer le 1<sup>er</sup> janvier 2019 l'objet de Kuiper 2014 MU<sub>69</sub>, encore appelé *Ultima Thule* bien que ce nom ne soit pas officiel. Elle pourrait éventuellement en étudier un autre dans les années à venir.

La figure ci-dessus illustre la géométrie des orbites et la rencontre entre la sonde et 2014 MU<sub>69</sub>, ainsi qu'une image de l'objet photographié depuis une distance de 6700 km. Il est en fait constitué de deux corps rocheux collés l'un à l'autre, l'ensemble faisant environ 33 km dans sa plus grande longueur.

- 1) 2014 MU<sub>69</sub> est l'objet le plus externe du Système Solaire jamais exploré in situ. On en connaît d'autres beaucoup plus éloignés mais qui n'ont pas encore été visités. 2014 MU<sub>69</sub> tourne autour du Soleil sur une orbite presque circulaire (nous la considérerons comme telle) à 44,3413 unités astronomiques (UA). Calculer dans ces conditions la vitesse de 2014 MU<sub>69</sub> sur son orbite ainsi que sa période orbitale. On donnera les résultats dans les unités appropriées. Pour cela on utilisera les lois de Kepler que vous avez vues dans le cours. Vous aurez besoin des données suivantes :  $M = 1.9891 \times 10^{30}$  kg (masse du Soleil),  $G = 6.67 \times 10^{-11}$  SI,  $1 \text{ UA} = 1.496 \times 10^{11}$  m.
- 2) La sonde a approché 2014 MU<sub>69</sub> à une distance de 3500 km seulement le 1<sup>er</sup> janvier 2019. A cet instant elle était animée d'une vitesse héliocentrique de  $14,43 \text{ km s}^{-1}$ . Sachant que la masse de la sonde est de 420 kg, calculer l'énergie gravitationnelle (cinétique + potentielle) de la sonde par rapport au Soleil. Compte tenu du résultat obtenu, de quelle nature est l'orbite de la sonde autour du Soleil ? Que va-t-il lui arriver à l'avenir ?

- 3) A priori, lors du survol, 2014 MU<sub>69</sub> a modifié la trajectoire de la sonde par son action gravitationnelle. Pour quelles raisons peut-on supposer sans faire de calcul compliqué que cet effet est faible ?
- 4) Des études dynamiques récentes sur le Système Solaire externe tendent à suggérer qu'il pourrait exister à environ 600 UA du Soleil une planète supplémentaire et inconnue d'une dizaine de masses terrestres. A supposer que la sonde *New Horizons* se déplace radialement à vitesse constante, calculer quand elle aura atteint la distance de cette planète.
- 5) On va faire un calcul plus précis. L'orbite de la sonde est hyperbolique, avec une excentricité  $e = 1,41905$ . L'énergie mécanique pour une orbite hyperbolique vérifie

$$E = \frac{1}{2} \frac{GMm}{a} \quad , \quad (1)$$

où  $m$  est la masse de la sonde et  $a$  le demi-grand axe. Ensuite, la distance vérifiée à chaque instant

$$r = a(e \cosh u - 1) \quad , \quad (2)$$

où  $u$  est l'anomalie excentrique. Utiliser ces relations pour en déduire le demi-grand axe  $a$ , puis l'anomalie excentrique  $u_0$  lorsque la sonde passe au voisinage de 2014 MU<sub>69</sub> et  $u_1$  lorsqu'elle atteindra la distance de 600 AU. L'équation de Képler pour les orbites hyperboliques s'écrit alors à chaque instant

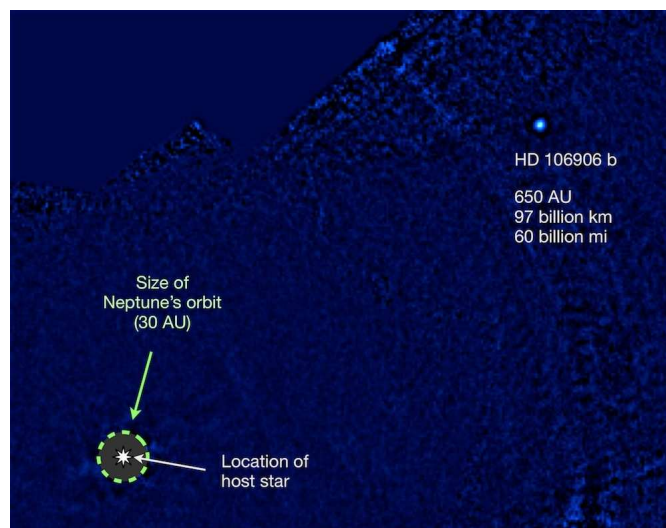
$$\sqrt{\frac{GM}{a^3}} (t - t_p) = e \sinh u - u \quad , \quad (3)$$

où  $t_p$  est le temps de passage au périastre. En appliquant cette relation au temps  $t_0$  de passage au voisinage de 2014 MU<sub>69</sub> et au temps  $t_1$  de passage à 600 UA, en déduire la valeur  $t_1 - t_0$  (il n'y a pas besoin de connaître  $t_p$ ) et le temps  $t_1$ . Quelle comparaison faites-vous avec le résultat obtenu avec l'hypothèse de mouvement rectiligne uniforme ?

N.B. : Pour ceux d'entre vous qui ne disposeraient pas de fonction `arcosh` sur leur calculette, je rappelle la formule

$$\operatorname{arcosh} x = \ln \left( x + \sqrt{x^2 - 1} \right) \quad .$$

## II La planète HD 106906 b



La figure ci-dessus illustre la détection en imagerie d'une exoplanète autour de l'étoile HD 106906. La planète en haut à droite de l'image a été appelée HD 106906 b. C'est a priori une grosse planète de 11 fois la masse de Jupiter. Elle est située à 650 UA (Unités Astronomiques) de l'étoile centrale HD 106906 visible en bas à gauche de l'image. L'étoile a une masse de  $2.6 M_{\odot}$  ( $M_{\odot}$  = masse solaire)

- 1) Comment cette distance se compare-t-elle aux dimensions standard du Système Solaire ? En quoi ce système est-il inhabituel ?
- 2) En utilisant la troisième loi de Képler, calculer la période orbitale de la planète à 650 UA. On donnera le résultat en années. On prendra  $G = 6.67 \times 10^{-11}$  SI,  $M_{\odot} = 1.9891 \times 10^{30}$  kg,  $1 \text{ UA} = 1.496 \times 10^{11}$  m
- 3) La planète a été découverte en 2014. Afin de contraindre son orbite autour de l'étoile centrale, il serait intéressant de la réobserver pour voir si entre temps elle s'est déplacée sur orbite. Compte tenu de la précision des instruments actuels, ce ne sera détectable qu'à partir du moment où elle aura bougé d'environ  $1^{\circ}$  sur le ciel. En supposant l'orbite circulaire et vue de face, calculez au bout de combien de temps la planète se sera déplacée de  $1^{\circ}$  sur son orbite. Qu'en concluez vous ?
- 4) L'orbite n'est pas nécessairement circulaire. A supposer qu'elle soit elliptique, d'un point de vue probabiliste à quelle endroit de son orbite est-elle située aujourd'hui ? Quelle conséquence cela peut-il avoir sur la détectabilité du mouvement orbital ?