Les forces non-gravitationnelles appliquées aux comètes

Lucie Maquet

July 15, 2010

Plan

Plan

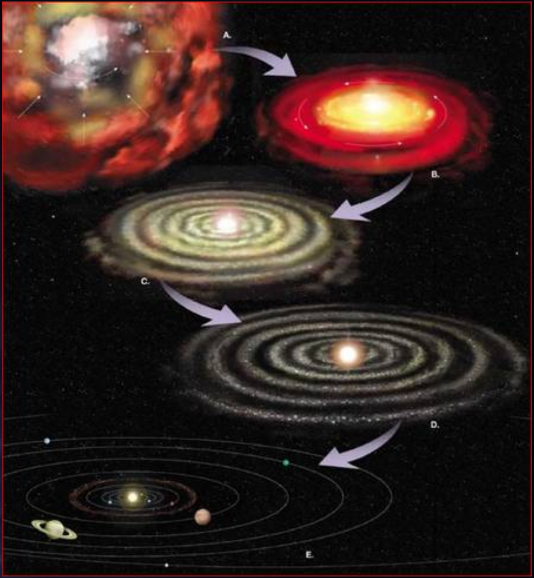
Plan

Plan

Qu'est ce qu'une comète ?

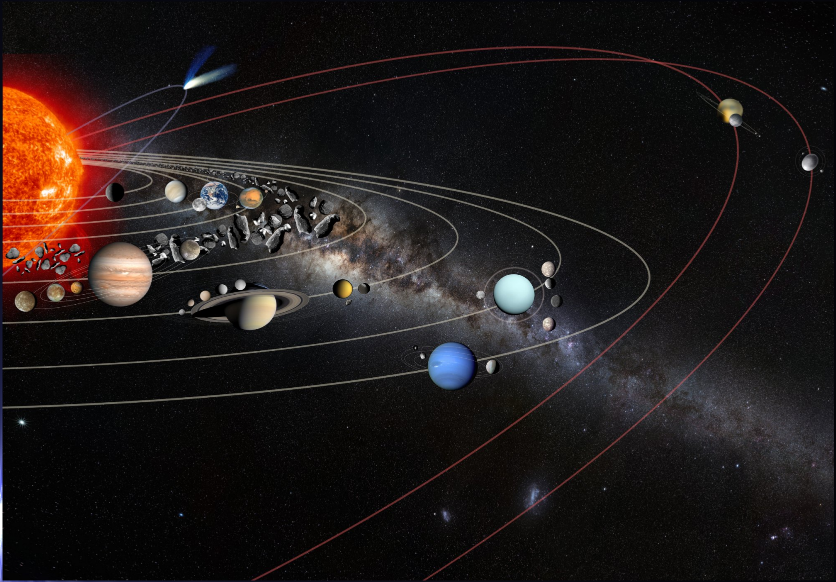
Qu'est ce qu'une comète ?

D'où viennent les comètes ?

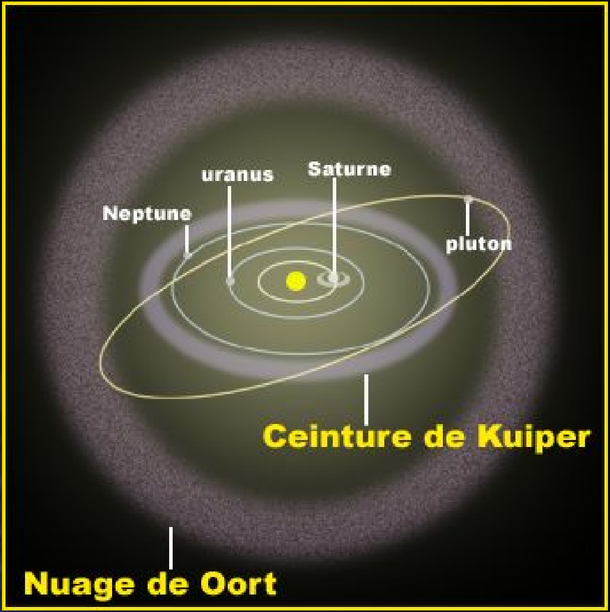


D'où viennent les comètes ?

Rappels sur le système solaire



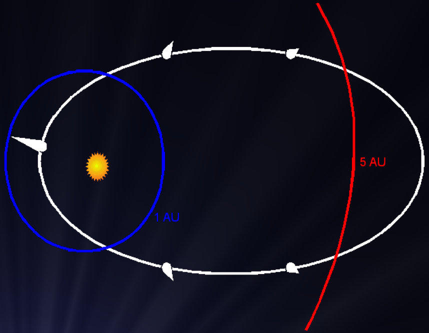
D'où viennent les comètes ?

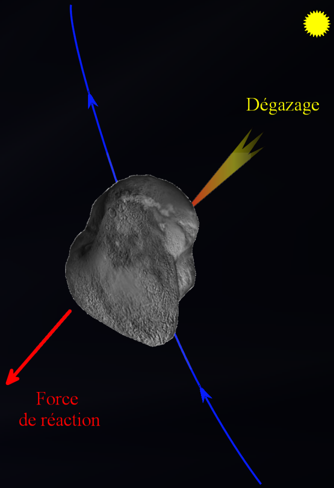


Pourquoi étudier les comètes ?

Figure: 81P/Wild2 vue du T1m du Pic du Midi

Que sont les forces non-gravitationnelles ?





- Acceleration due au dégazage de l'eau
- Perturbation de l'orbite purement gravitationnelle

Que sont les forces non-gravitationnelles ?

Une bonne illustration !

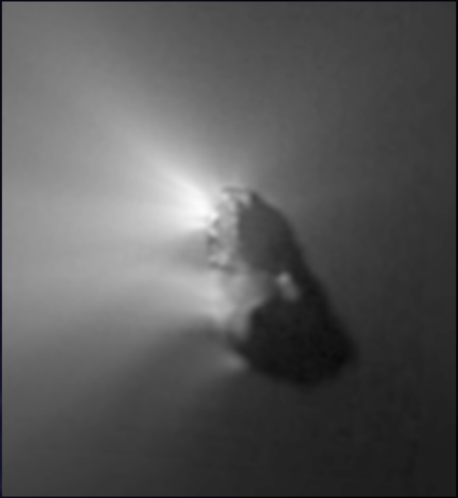


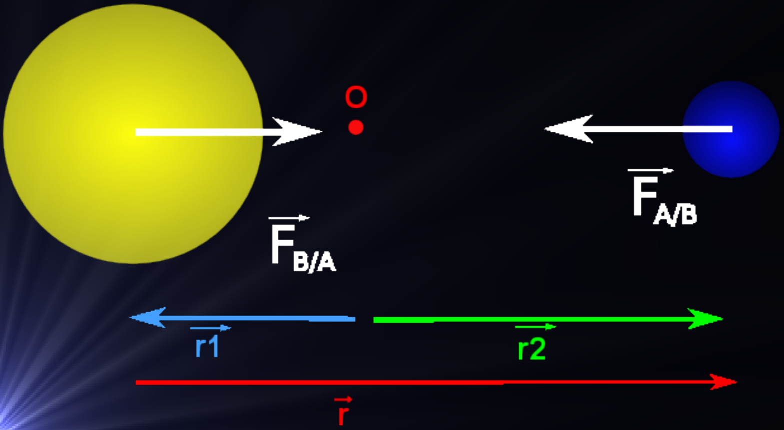
Figure: La comète de Halley vu par la sonde GIOTTO

Pourquoi étudier les forces non-gravitationnelles ?

- Les forces non-gravitationnelles sont utiles pour obtenir une estimation de la densité de la cométe (Seule possibilité depuis le sol)
- Amélioration des calculs des positions par rapport à " l'orbite gravitationnelle "

Un peu de mécanique céleste

Le problème à deux corps



Un peu de mécanique céleste

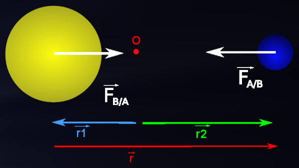
Le problème à deux corps - Un peu d'équations

On considère un système isolé constitué de deux masses pontuelles M (pour A) et m (pour B). On note O le centre de gravité.
On applique la seconde loi de Newton sur la masse B dans le repère lié à O :

$$\overrightarrow{F_{A/B}} = m\overrightarrow{a_B}$$

Or d'après la première loi de Newton, on a :

$$\overrightarrow{F_{A/B}} = -\frac{GMm}{r^2}\frac{\overrightarrow{r}}{\|\overrightarrow{r}\|}$$



Un peu de mécanique céleste

Les dérivées par rapport au temps

Définition mathématiques de la dérivée

f dérivable en x_0, la dérivée s'écrit :

$$f'(x_0) = \lim_{x \longrightarrow x_0} \frac{f(x) - f(x_0)}{x - x_0} = \left(\frac{df(x)}{dx}\right)_{x = x_0}.$$

Pour calculer la vitesse moyenne d'un corps entre deux positions à des temps t_1 et t_2 :

$$v_{moy} = \frac{r(t) - r(t_0)}{t - t_0}$$

Pour calculer la vitesse instantanée du corps, il faut que l'intervalle de temps $t - t_0$ soit infiniment petit. On fait donc tendre t vers t_0

$$v_{inst} = \lim_{t \longrightarrow t_0} \frac{r(t) - r(t_0)}{t - t_0} = \left(\frac{dr}{dt}\right)_{t = t_0}$$

Un peu de mécanique céleste

Les dérivées par rapport au temps

Pour calculer l'accélération moyenne (variation de vitesse) d'un corps entre deux positions à des temps t_1 et t_2 :

$$a_{moy} = \frac{v(t) - v(t_0)}{t - t_0}$$

Pour calculer l'accélération instantanée du corps, il faut que l'intervalle de temps $t - t_0$ soit infiniment petit. On fait donc tendre t vers t_0

$$a_{inst} = \lim_{t \to t_0} \frac{v(t) - v(t_0)}{t - t_0} = \left(\frac{dv}{dt}\right)_{t=t_0} = \left(\frac{d\left(\frac{dr}{dt}\right)}{dt}\right)_{t=t_0} = \left(\frac{d^2 r}{dt^2}\right)_{t=t_0}$$

De manière générale : $\overrightarrow{a} = \frac{d\overrightarrow{v}}{dt} = \frac{d^2\overrightarrow{r}}{dt^2}$

Un peu de mécanique céleste

Retour au problème à deux corps

$$m\overrightarrow{a_B} = -\frac{GMm}{r^2}\frac{\overrightarrow{r}}{\|\overrightarrow{r}\|}$$

On introduit les dérivées, on est toujours dans le référentiel lié à O :

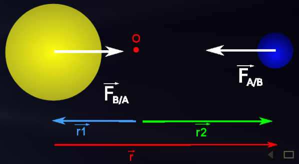
$$\overrightarrow{a_B} = \frac{d^2\overrightarrow{OB}}{dt^2}$$

Comme O est le centre de masse :

$$\overrightarrow{OB} = \frac{M}{M+m}\overrightarrow{r}$$

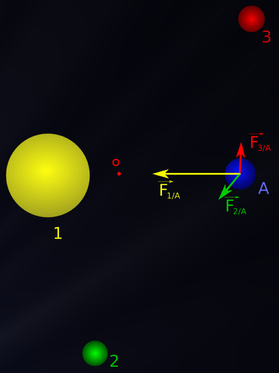
Ainsi, on obtient l'équation du mouvement de B :

$$\boxed{\frac{d^2\overrightarrow{r}}{dt^2} = -\frac{G(M+m)}{r^3}\overrightarrow{r}}$$



Un peu de mécanique céleste

Passage au problème à 2 corps perturbés



$$\frac{d^2\overrightarrow{r}}{dt^2} = -\frac{G(m_1+m_A)}{r^3}\overrightarrow{r} + \sum_{i=2}^{3} G(m_i+m_A)\left(\frac{\overrightarrow{Ai}}{Ai^3} - \frac{\overrightarrow{Oi}}{Oi^3}\right)$$

Les modèles dynamiques

- Qu'est ce que c'est ?
  - C'est le **modèle** de l'évolution d'un système dans le temps
  - On décrit et on explique les causes les causes du mouvement
- Quel est le but ?
  - Pouvoir reproduire l'évolution d'un système
  - Comprendre comment l'environnement d'un objet inluence son mouvement
- Comment s'y prendre ?
  - Repérer les effets à inclure dans le modèle
    - Les masses
    - Les distances
    - Les effets non-gravitationnels...
  - Modéliser les effets
  - Les inclure dans les équations du mouvement

L'ancien modèle : Marsden 1963

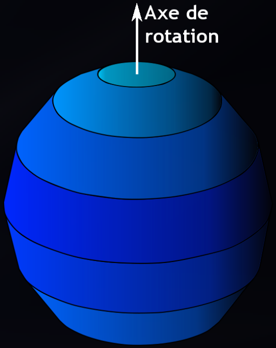
- Les FNG causent un retard ou une avance du passage au périhélie
- Les effets saisonniers (comme sur la Terre) ne sont pas pris en compte
- Activité globale de la moitiè d'un noyau (géométrie d'illumination et d'émission ignorée)
- Le noyau est supposé constitué de glace pure

Le modèle en cours

Hypothèses du modèle

- Modèle pseudo-sphérique découpé en bandes latitudinales
- Inertie thermique du noyau est négligée
- La vitesse du gaz est propotionnelle à la vitesse thermique du gaz

Ces hypothèses sont moins restrictives que celles de Marsden et permettent les effets saisonniers

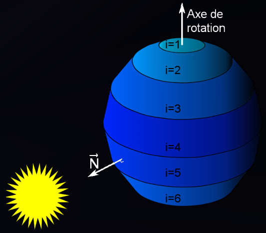


Le modèle en cours

Expression de la force

$$\left(\frac{d\overrightarrow{F(t)}}{dS}\right)_i = Z_i(t).V_{g_i}(t).M_{H_2O}.\overrightarrow{N_i}$$

- Le taux de sublimation Z et la température sont calculés à partir de l'incidence des rayons du soleil
- Calcul de la vitesse du gaz V_g à partir de la température



Le modèle en cours

Les équations du mouvement

Les mêmes que pour les problème à deux corps perturbés auxquelles on ajoute les ANG :

$$\frac{d^2\overrightarrow{r}}{dt^2} = \overrightarrow{A_g} + \overrightarrow{A_{NG}}$$

$$\boxed{\overrightarrow{A_{NG}}(t) \propto \frac{1}{\rho R} \sum_{i=1}^{k} C_i \left(\frac{d\overrightarrow{F}(t)}{dS} \right)_i}$$

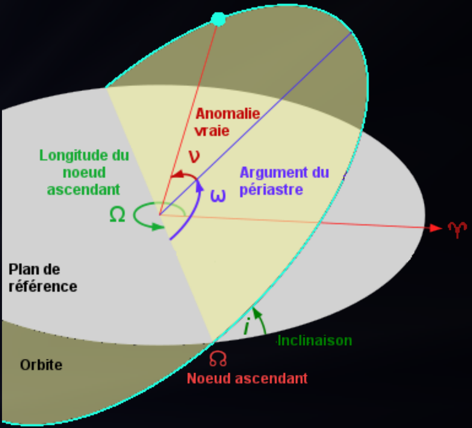
- ρR : produit de la densié par le rayon du noyau
- C_i : coefficients relatifs à l'activité de la surface

Les paramètres d'une orbite

a = demi-grand axe

e = excentricité

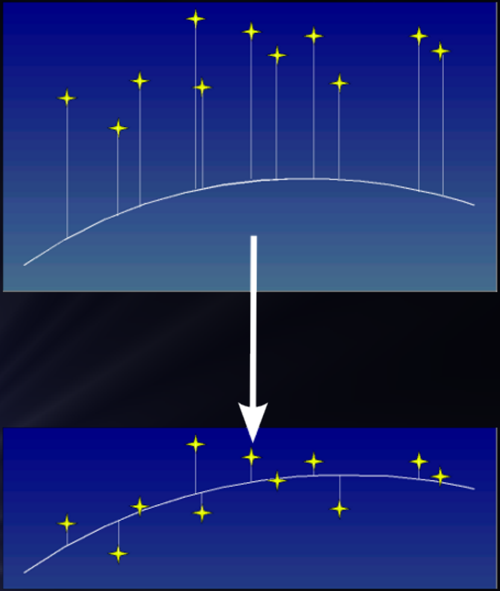
- e=0 $\mapsto$ cercle
- e=1 $\mapsto$ parabole
- 0<e<1 $\mapsto$ ellipse
- e>1 $\mapsto$ hyperbole



L'intégration du problème

L'intégration numérique

L'ajustement du modèle



Perspectives

- Application du modèle aux comètes : Borelly, Wild 2, Hartley 2, (Halley ?)
- Ajout de l'ajustement du taux de production d'eau et de la vitesse du gaz
- Extension du modèle à une force ellipsoidale
- Utilisation du modèle pour interprêter les mesures astrométriques de GAIA

Merci !