

Pour dévier un astéroïde qui pourrait entrer en collision avec la Terre, il a été proposé d'appliquer la méthode du tracteur gravitationnel qui utilise l'attraction gravitationnelle mutuelle entre l'astéroïde noté A et un engin spatial noté E. Par sa masse  $m$ , l'engin spatial exerce une faible force sur l'astéroïde qui modifie suffisamment l'orbite de l'astéroïde pour éviter la Terre.

**L'objectif de cet exercice est d'étudier la déviation d'un astéroïde par un tracteur gravitationnel et d'en déduire l'augmentation de sa période de révolution.**

### Étude générale de la déviation d'un astéroïde.

1. Représenter, sans souci d'échelle, la force d'attraction gravitationnelle  $\vec{F}_{E/A}$  exercée par l'engin spatial E sur l'astéroïde A, tous deux considérés comme des points matériels, lorsqu'ils se trouvent à une distance  $d$  l'un de l'autre.

L'interaction gravitationnelle entre l'astéroïde et l'engin spatial a lieu pendant une durée  $\Delta t$  faible devant la période orbitale de l'astéroïde. Pendant cet intervalle de temps, la trajectoire de l'astéroïde est supposée quasi rectiligne et l'engin se maintient à une distance  $d$  constante de l'astéroïde.

On a représenté sur la figure 1 une portion de la trajectoire de l'astéroïde ainsi que sa vitesse initiale  $\vec{V}_i$  en un point M de sa trajectoire sans présence de l'engin spatial puis le nouveau vecteur vitesse  $\vec{V}_f$  de l'astéroïde juste après l'interaction en présence de l'engin spatial.

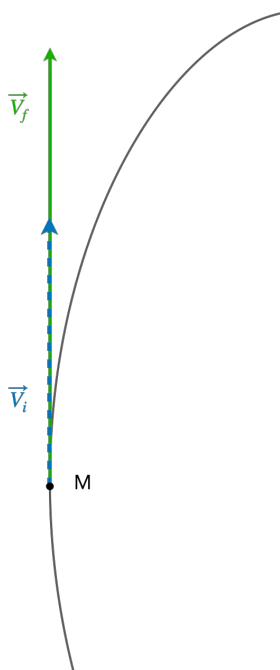


Figure 1. Zoom sur la trajectoire de l'astéroïde

2. Reproduire la figure 1 et y tracer le vecteur variation de vitesse  $\Delta \vec{V}$  résultant de son interaction avec l'engin spatial E et qui permet de le dévier de sa trajectoire au point M.
3. Déduire de la réponse à la question 2. la direction privilégiée dans laquelle les astronomes doivent placer l'engin spatial E pour dévier l'astéroïde A de sa trajectoire initiale en choisissant parmi les propositions suivantes :

Dans la direction de  $\Delta \vec{V}$  – Perpendiculaire à  $\Delta \vec{V}$  – Quelconque

## Application à la déviation d'Apophis.

L'astéroïde Apophis est un astéroïde qui pendant quelques années a préoccupé la communauté scientifique car il avait une probabilité de 2,7 % d'entrer en collision avec la Terre, risque écarté depuis.

### Données :

- Masse d'Apophis :  $M = 4 \times 10^{10}$  kg
- Masse de l'engin spatial :  $m = 5 \times 10^3$  kg
- Distance entre Apophis et l'engin spatial supposée constante :  $d = 240$  m
- Constante gravitationnelle :  $G = 6,67408 \times 10^{-11}$  N.m<sup>2</sup>.kg<sup>-2</sup>

4. Donner l'expression de la norme de la force  $F_{E/A}$  qu'exerce l'engin spatial sur Apophis en fonction de  $G$ ,  $M$ ,  $m$  et  $d$  et calculer sa valeur.

Soit  $\Delta t$  la durée pendant laquelle il faut appliquer cette force pour obtenir la variation de vitesse  $\Delta V$  voulue.

5. En appliquant la deuxième loi de Newton à Apophis, dans le référentiel héliocentrique, montrer que

$$\Delta t = \frac{\Delta V \times d^2}{G \times m}$$

Les scientifiques ont estimé qu'il pourrait suffire d'augmenter la norme du vecteur vitesse de l'astéroïde de  $2 \times 10^{-6}$  m.s<sup>-1</sup> au niveau de l'aphélie (point de la trajectoire la plus éloignée du Soleil) pour qu'il évite la Terre.

6. Montrer que la durée  $\Delta t$  d'utilisation du tracteur géospatial pour dévier Apophis dans ces conditions est d'environ 4 jours.

L'utilisation du tracteur gravitationnel engendre une augmentation du rayon de la trajectoire de l'astéroïde. Cette modification entraîne une augmentation de la période de révolution  $T$  de l'astéroïde autour du Soleil d'environ 15 minutes, ce qui évitera l'impact avec la Terre.

### Données :

- Constante gravitationnelle :  $G = 6,67408 \times 10^{-11}$  N.m<sup>2</sup>.kg<sup>-2</sup>
- Rayon de la trajectoire d'Apophis :  $R = 1,37961 \times 10^{11}$  m
- Masse du Soleil :  $M_S = 1,98892 \times 10^{30}$  kg
- Période de révolution  $T$  de l'astéroïde autour du Soleil sans l'utilisation du tracteur gravitationnel :  
 $T = 323,442$  jours

On considère que l'astéroïde Apophis évolue autour du Soleil selon un mouvement uniforme quasi-circulaire de rayon  $R$ .

7. Établir la troisième loi de Kepler pour Apophis dans le référentiel héliocentrique.
8. Déterminer la valeur de la période de révolution  $T'$  d'Apophis après utilisation du tracteur gravitationnel.
9. Calculer la valeur du nouveau rayon de la trajectoire d'Apophis  $R'$  et en déduire la valeur de l'augmentation  $\Delta R$ , en mètre, du rayon de la trajectoire de l'astéroïde après utilisation du tracteur gravitationnel.