

# Solarius :

## Calcul de la trajectoire d'une fusée dans le Système Solaire

### Mise en orbite autour de Proxima du Centaure

---

## 1 - Introduction

Solarius a été développé lors de Travaux Personnels Encadrés en 1ère S, sur la base d'un modèle plus simple décrit dans [simulations\\_fusees](#). Il permet d'illustrer comment la force gravitationnelle et la poussée des moteurs d'une fusée entraînent une variation de la vitesse de la fusée sur un pas de temps petit mais fini. Bien que des méthodes numériques à la fois plus économiques en temps calcul et plus précises existent, la méthode d'Euler utilisée ici donne des résultats très satisfaisants : on obtient par exemple une trajectoire fermée pour un satellite de la Terre ou de Proxima du Centaure, puisque tel était l'objectif de l'élaboration de Solarius. Une partie importante du développement a concerné la visualisation des trajectoires sur des échelles très diverses et dans différents référentiels, ce dont la faisabilité n'était pas évidente, ainsi que la gestion et la mise à feu des différents étages de la fusée. Le calcul de la trajectoire pas à pas se résume quant à lui à 1 ligne de programme basée sur l'algorithme d'Euler.

Il s'agit dans les 2 paragraphes suivants, de donner des indications pour visualiser au mieux avec Solarius les trajectoires d'une fusée lancée depuis le voisinage de la Terre, afin d'obtenir les informations pertinentes de ce modèle dans 2 cas : sortie du Système Solaire avec et sans assistance gravitationnelle. De nombreuses autres situations peuvent être étudiées avec Solarius.

## 2 - Sortie du Système Solaire avec assistance gravitationnelle

- Cliquer sur le lien [http://www.tuclie.fr/tuto\\_pdf\\_06/fusee\\_proxima/proxima\\_assist\\_grav.htm](http://www.tuclie.fr/tuto_pdf_06/fusee_proxima/proxima_assist_grav.htm).

On voit le Système Solaire.

La distance entre la fusée et Mars est indiquée en haut à gauche, en mètres et en unité distance-Terre-Lune.

- Choisir le référentiel Terre dans un premier temps.

- Cocher : trajectoire géocentrique visible (en bleu) et trajectoire marsocentrique visible (en brun). La trajectoire héliocentrique est en vert.

La fusée (en rouge) est initialement à une distance de 10 000 km du centre de la Terre.

- Dézoomer "gros" légèrement pour faire apparaître la Lune.
- Cliquer sur "Marche, Terre en orbite".

La position par rapport au Soleil est indiquée en bas à droite en violet.

- Cliquer sur "arrêt" pour le pas de temps N (en haut à droite) voisin de 850 (soit 1 jour 3 heures et 52 minutes en temps réel).
- Passer en référentiel "Soleil".
- Cliquer sur "Marche".

Le calcul s'arrête au pas N = 1080 (soit 91 jours et 18 heures).

- Passer en référentiel "Mars".

On aperçoit la fusée en haut. On note sa vitesse :  $V1 = 28963$  m/s. La distance entre la fusée et Mars est indiquée : 30 fois la distance Terre-Lune (ceci permettra de mettre en évidence l'effet d'assistance gravitationnelle).

- Cliquer sur "Marche".

Le calcul est alors très précis avec un petit pas de temps. Le calcul s'arrête lorsque la fusée est au plus près de Mars : 0,025 fois la distance Terre-Lune.

- Utiliser zoom gros, x moyen, x fin et x très fin pour mieux voir la fusée au plus près de Mars. En cas de perte à l'écran, dézoomer et recommencer plus délicatement. Finir avec zoom moyen.
- Relancer un court instant le calcul : "Marche" puis "Arrêt", pour voir la fusée déviée et accélérée par Mars. La trajectoire paraît anguleuse, mais le calcul est effectué beaucoup plus précisément que ne l'est l'affichage, pour ne pas ralentir la simulation.

- Dézoomer gros.

On a l'impression de voir un coude sur la trajectoire au passage près de Mars.

- "Marche".

Le calcul s'arrête à N = 4483 (111 jours), la distance entre la fusée et Mars étant à nouveau 30 fois la distance Terre-Lune. La vitesse de la fusée est  $V2 = 37470$  m/s, nettement supérieure à V1. Pour faciliter la mise en évidence de l'assistance gravitationnelle, la masse de Mars a été multipliée par 100. Il est clair que Mars est une petite planète et que l'assistance gravitationnelle est plus efficace avec une grosse planète, voire en cumulant l'effet de plusieurs planètes.

- Repasser dans le référentiel du Soleil.
- "Marche" un court instant puis "Arrêt" pour  $N < 4695$
- Dézoomer gros.
- Retirer l'affichage des trajectoires géocentriques et marsocentriques, qui apportent de la confusion.
- Dézoomer énorme pour voir le Soleil et Proxima du Centaure.
- "Marche".

Le calcul s'arrête au pas 5378.

- Passer dans le référentiel de Proxima du Centaure.

La distance entre la fusée et Proxima est alors de 100 Unités Astronomiques (100 fois la distance Terre-Soleil).

- Zoomer moyen.
- Marche (phase de freinage).

La simulation se termine par une orbite elliptique de la fusée autour de Proxima du Centaure avec une distance de l'ordre d'une Unité Astronomique.

Le travail pour obtenir une telle simulation porte essentiellement sur la gestion du carburant et la vitesse d'éjection des gaz, qui figurent dans les données de la procédure HTML.

### 3 - Sortie du Système Solaire sans assistance gravitationnelle

- Cliquer sur le lien [http://www.tuclic.fr/tuto\\_pdf\\_06/fusee\\_proxima/proxima\\_sans\\_assist\\_grav.htm](http://www.tuclic.fr/tuto_pdf_06/fusee_proxima/proxima_sans_assist_grav.htm).

On voit le Système Solaire.

- Passer dans le référentiel terrestre.
- Faire afficher la trajectoire dans le référentiel géocentrique (en bleu).
- Dézoomer gros pour voir la Lune.
- Arrêter le calcul vers le pas de temps  $N = 900$ .

- Passer dans le référentiel solaire.

- Dézoomer gros.

- Marche.

- Arrêter vers  $N = 2030$ .

On voit en bleu les boucles de rétrogradation de la fusée dans le référentiel géocentrique.

- Dézoomer gros pour voir Pluton.

- Marche.

- Arrêter vers  $N = 2376$ .

- Dézoomer énorme pour voir Proxima du Centaure.

- Retirer la trajectoire géocentrique.

- Marche.

- Arrêter vers  $N = 3000$ .

- Passer dans le référentiel de Proxima du Centaure.

- Marche.

- Zoomer moyen.

- Marche.

On observe une trajectoire quasi-circulaire à 15 Unités Astronomiques de Proxima.