

# Données de la sonde Juno (NASA) pour un TP « 3<sup>ème</sup> loi de Kepler » au lycée et en licence.

## Objectifs :

- Faire connaître le film promotionnel de la NASA montrant l'enregistrement sur 9 jours sans interruption de la merveilleuse dynamique des 4 satellites Joviens (mission JUNO): <https://www.youtube.com/watch?v=XpsQimYhNkA>
- Fournir à la communauté éducative des données authentiques sur la dynamique des satellites de Jupiter, permettant de vérifier en classe la 3<sup>ème</sup> loi de Kepler et de mesurer la masse de Jupiter avec une bonne précision.

## Auteur :

- Vincent Guillet, maître de Conférence à l'Université Paris-Sud – Université Paris-Saclay, astrophysicien (Institut d'Astrophysique Spatiale d'Orsay, Laboratoire Univers et Particules de Montpellier)
- Pour toute question et retour : [vincent.guillet@u-psud.fr](mailto:vincent.guillet@u-psud.fr)

**Niveaux visés :** Lycée, L1-L2, CPGE

## Propositions d'activité avec les élèves/étudiants :

En faisant l'hypothèse que les orbites sont circulaires, il est possible, avec ces données, et suivant le niveau des élèves/étudiants, de :

- 1) vérifier la 3<sup>ème</sup> loi de Kepler
- 2) déterminer la loi de Kepler en fittant  $\log(T) = f(\log(a))$ . Il est pour cela nécessaire de bien mesurer T et a pour Callisto, et d'estimer les incertitudes de mesure.
- 3) mesurer la masse de Jupiter. On trouve  $M_J = (2.1 \pm 0.1) \times 10^{27}$  kg. L'incertitude sur la masse ne tient pas compte des incertitudes systématiques liées à la correction de l'avancée de Jupiter.
- 4) remarquer les résonances dans les périodes de rotation de Jupiter
- 5) déterminer l'inclinaison du plan d'orbite par rapport à la sonde

Toute autre suggestion est la bienvenue, prière de m'en faire part.

## Présentation des données

La vidéo promotionnelle de la NASA ci-dessous présente la dynamique des satellites de Jupiter enregistrée par la caméra JunoCAM lors de la phase d'approche de Jupiter par la sonde JUNO en Juin 2016 : <https://www.youtube.com/watch?v=XpsQimYhNkA>

Sur cette vidéo, la sonde s'approche de Jupiter, qui grossit progressivement à l'écran.

- 1) J'ai extrait de cette vidéo les positions x et y de chaque satellite à chaque instant (une photo toutes les 15 minutes environ). Le résultat n'est pas sans défaut.
- 2) Connaissant la distance de Jupiter à la sonde à chaque instant (données de la sonde Juno), j'ai reprojété les valeurs x et y à la position de la sonde à  $t = 0$ , de manière à compenser la diminution de la distance Juno-Jupiter au cours de l'enregistrement.
- 3) J'ai choisi d'exclure les données prises après l'interruption de la caméra, de manière à garder 9 jours d'observation sans interruption.

Le kit fourni contient plusieurs fichiers de données :

- Un fichier Excel compact pour les étudiants (recommandé) : `juno.xls`
  - 231 lignes (1 position par heure)
  - cases vides : satellite non détecté, ou dans l'ombre de Jupiter.
  - distance apparente à Jupiter en millions de km, corrigées du déplacement de la sonde.
- Des fichiers plus complets :
  - 873 lignes (1 position toutes les 15 min)
  - le marqueur « NaN » (Not a Number) quand le satellite n'est pas détecté.
  - des colonnes d'informations relatives aux données brutes de JunoCAM
  - deux versions pour ce fichier :
    - brute (`juno_raw.dat`) : distances en pixels, non corrigées de l'approche de Jupiter et non convertie en km.
    - corrigée (`juno_rescaled.dat`) : distance apparente à Jupiter en millions de km, corrigées de l'approche de Jupiter.

Ces fichiers ne contiennent que les données des 9 premiers jours d'acquisition ininterrompue. Si vous souhaitez obtenir l'ensemble des données (16 jours), le script python qui a permis l'extraction et la calibration des données est inclus dans le kit.

### **Tests effectués en classe de Lycée (janvier 2019)**

Des TP basés sur ces données ont été effectués lors de séances de TP de Physique-Chimie (2h) dans 3 Lycées de la région de Montpellier :

- 2 groupes mixtes (2<sup>nde</sup>, 1<sup>ère</sup> S et Terminale S) du lycée Feuillade de Lunel, lors de leur exceptionnelle « Semaine de la Science » ;
- 2 groupes de Terminale S du Lycée Champollion de Lattes ;
- 2 groupes de Terminale S du Lycée Victor Hugo de Lunel.

### **Remerciements :**

- Pour leur aide au traitement des images du film : Tristan Guillot (OCA), Gerald Eichstaedt, et Candy Hansen (PI JunoCam).
- Pour le test et la mise en place du TP : Mathieu Alliès & Laura Nicar (Lycée Feuillade, Lunel), Arnaud d'Andrea (Lycée Champollion), et Nathalie Bruguier (Lycée Victor Hugo, Lunel), ainsi que leurs élèves.

---

### **Liste des fichiers joints :**

- Fichiers de données :
  - `juno.xls`
  - `juno_rescaled.dat`
  - `juno_raw.dat`
- Un extrait agrandi du film : `revolutions_satellites_Jupiter_JUNO_zoom.mp4`
- Document de présentation PowerPoint : `TP_Juno_v8.ppt`
- Le code python qui extrait les données du film, convertit les positions en distance, et les corrige du déplacement de la sonde : `extract_video_MSSS_v10.py`