

## Les satellites de Jupiter : un scénario pour l'option MPS en seconde

On présente dans la suite un scénario en trois séances d'une heure et demie, en faisant l'hypothèse que les élèves ne connaissent pas le logiciel *Stellarium*. Dans le cas contraire (se renseigner auprès du(de la) collègue de SPC), on pourra passer directement à la séance 2.

Une première remarque issue du travail dans l'atelier : partir des données de Nicolas-Claude Fabri, seigneur de Peiresc.

Voici deux liens intéressants :

<http://lesamisdepeiresc.fr/astonomie/astonomie/page.html>

<http://www.lesamisdepeiresc.fr/bibliotheque/>

### Séance 1 (SPC ou maths)

Apprentissage de l'utilisation du logiciel *Stellarium* (libre et gratuit), qui est un logiciel de simulation astronomique. Les élèves savent peut-être déjà l'utiliser à l'issue du cours de sciences physiques.

En utilisant le menu qui apparaît à gauche de l'écran (lorsqu'on approche le curseur), on lance (loupe) la recherche de Jupiter (système solaire, puis Jupiter).

Il faut explorer les différentes fonctionnalités correspondant aux touches qui apparaissent en bas de l'écran.

On apprend à régler la date et faire défiler le temps plus ou moins vite, on sélectionne Jupiter et on le centre au milieu de l'écran, on agrandit de manière à voir les satellites *Io*, *Europe*, *Ganymède*, *Callisto* à l'écran.

L'objectif de la séance, annoncé aux élèves, est de décrire le mouvement apparent des quatre satellites, vu depuis la Terre.

On voit que les satellites décrivent des trajectoires pratiquement rectilignes (des segments de droite).

A savoir : pour faire afficher une orbite, on clique sur le satellite, puis sur O.

Une suggestion : régler le logiciel *Stellarium* en 1611 et aux jours et heures des observations de Peiresc) et demander aux élèves de faire les mesures, aux mêmes instants que Peiresc.

### Séance 2

#### Retour sur la séance 1 (10 min)

P<sup>1</sup> : « A la fin de la séance précédente, vous avez décrit le mouvement apparent de Callisto, Europe, Ganymède et Io par rapport à Jupiter. »

---

<sup>1</sup> C'est le(la) professeur(e) qui parle. Dans toute la suite P désigne la(ou le) professeure.

Des élèves donnent leur description. P montre au vidéoprojecteur le mouvement observé de Jupiter et de ses quatre satellites, en accélérant beaucoup le temps. On voit presque que Callisto, Europe, Ganymède et Io « tournent autour » de Jupiter. On essaie de faire sortir l'idée que le mouvement « rectiligne » qu'on voit avec *Stellarium* est dû à la position de l'observateur. Analogie avec le mouvement de la valve d'une roue de vélo quand l'observateur est dans le plan du vélo et quand il est dans l'axe perpendiculaire à celui du vélo, passant par le centre de la roue.

P : « Nous allons modéliser<sup>2</sup> le mouvement de chacun de ces satellites autour de Jupiter comme un mouvement circulaire, leur trajectoire étant donc un cercle centré sur Jupiter. »

### **Présentation du but des deux séances suivantes, de l'objectif d'apprentissage et de la première consigne (10 min)**

#### But des 2 séances suivantes, présenté aux élèves

P : « Ce qu'on appelle *la troisième loi de Képler* établit, pour une planète donnée, une relation entre la distance à cette planète de n'importe lequel de ses satellites et sa période de révolution autour de la planète.

*Une suggestion : ne pas nécessairement parler aux élèves de la troisième loi de Képler.*

Nous allons choisir Jupiter comme planète (la plus grosse planète du système solaire) et ses quatre « lunes » (découvertes par Galilée) : Callisto, Europe, Ganymède et Io. (Depuis Galilée, par de nombreuses observations, on a découvert 61 satellites à Jupiter).

Nous faisons donc l'hypothèse<sup>3</sup> d'une relation entre la distance à Jupiter de n'importe lequel de ses satellites et sa période de révolution autour de Jupiter.

En utilisant *Stellarium* (logiciel de simulation, planétarium virtuel<sup>4</sup>), nous allons tester cette hypothèse et, comme on le pratique en sciences, redécouvrir par tâtonnements cette loi.

Pour cela, nous allons, dans cette séance, mesurer les distances à Jupiter de ces quatre lunes, ainsi que leur période de révolution autour de Jupiter. »

#### L'objectif d'apprentissage spécifique à cette séance

est une méthode pour mesurer le rayon de l'orbite de chaque satellite et sa période de révolution autour de Jupiter et sa mise en œuvre avec *Stellarium*.

#### Consigne 1

Mettre les élèves par groupes de 3 ou 4 et demander de décrire précisément une méthode pour mesurer ce rayon et cette période. Quelles unités va-t-on utiliser ?

Les élèves ont peut-être déjà entendu parler de période de révolution. La réflexion sur la méthode cherchée va permettre de revenir sur ce point.

Dès le début de la séance, il faut que les élèves aient visibles sur leur écran d'ordinateur (2 ordinateurs par groupe) Jupiter et ses quatre lunes. Ils doivent pouvoir tester leur méthode en même temps qu'ils la construisent.

Avertir d'un bilan 25 min après la donnée de la consigne, sur les méthodes des groupes.

---

<sup>2</sup> Les trajectoires ne sont pas des cercles, mais on simplifie la réalité.

<sup>3</sup> J'utilise le mot d'hypothèse au sens de la physique (conjecture en mathématiques).

<sup>4</sup> Il me semble important de bien préciser les choses pour les élèves, puisque nous parlons de MPS.

### **Travail des élèves par groupes (25 min)**

Il faut laisser les élèves chercher une méthode et leur demander de la rédiger.

#### Pour le(la) professeur(e)

On peut mesurer la période en jours, minutes, secondes, en faisant défiler le temps ou bien en utilisant le menu à gauche de l'écran. Mais, pour cela, il faut bien repérer « un point » de la trajectoire en lequel on va voir passer deux fois de suite le satellite (Jupiter est aussi en mouvement). Ce point peut être, par exemple, un point de Jupiter (l'une des extrémités d'un diamètre du disque qu'on voit à l'écran). On mesure alors le temps qui sépare deux instants successifs où le satellite disparaît derrière Jupiter.

On peut mesurer le rayon de la trajectoire, à l'écran ou sur une copie d'écran, en cm. Inutile d'introduire un autre outil plus sophistiqué. Il faut bien repérer les instants où le satellite est le plus éloigné de Jupiter, à droite ou à gauche, et arrêter le temps à ce moment-là. La mesure peut se faire à l'aide d'une règle graduée sur l'écran ou sur une copie d'écran.

Il suffit de prendre une autre mesure pour trouver, par proportionnalité, une valeur du rayon de la trajectoire, en km, par exemple. Par exemple, mesurer sur une copie d'écran le diamètre de Jupiter et utiliser que le diamètre « réel » de Jupiter est de 139 822 km.

En utilisant la copie d'écran jointe<sup>5</sup>, tirée sur papier, je trouve 1 168 512 km pour le rayon de la trajectoire de Ganimède (la valeur théorique est 1 074 000 km) et pour celui de Io, je trouve 449 428 km (la valeur théorique est 425 000 km).

[Une suggestion : faire un histogramme des résultats des mesures des élèves.](#)

### **Bilan sur les méthodes (15 min)**

Chaque groupe présente sa méthode. Les méthodes sont écrites au tableau par le professeur. Débat et choix d'une méthode commune.

Fin de la première heure.

### **Mise en œuvre de la méthode choisie (30 min)**

Travail en binômes. Les élèves font les mesures et établissent leurs résultats. Ils devront, dans la suite, rédiger un compte-rendu (un par binôme) de la séance faisant apparaître les résultats obtenus en précisant ce qu'ils représentent, comment ils ont été obtenus et pourquoi on a fait ces mesures. Donc dire aux élèves de prendre des notes sur leurs premiers résultats.

S'assurer que les élèves peuvent imprimer des copies d'écran.

## **Séance 3**

### **Retour aux mesures de la période de révolution et du rayon de la trajectoire des quatre lunes de Jupiter et confrontation des résultats (30 min)**

Une fois que les binômes ont terminé leurs mesures, noter au tableau les différentes valeurs obtenues et commenter.

Les résultats vont être différents, certains seront peut-être aberrants.

---

<sup>5</sup> J'ai fait très vite, je pense que ce n'est pas la meilleure position pour Ganimède.

Discuter de la dispersion de ces résultats. Vérifier les ordres de grandeurs.

Sur quelles valeurs va-t-on s'arrêter ?

« L'erreur de mesure » est inévitable, elle est inhérente au processus de mesure. On peut proposer de faire une moyenne, après avoir écarté les valeurs aberrantes.

Pour la suite, toute la classe se met d'accord sur les mêmes résultats concernant la période et le rayon.

A titre indicatif, voici des résultats :

Satellite	Période $T$	Rayon $R$
Io	1,8 j	425 000 km
Europe	3,55 j	670 000 km
Ganymède	7,2 j	1 074 000 km
Callisto	16,7 j	1 883 000 km

### Détermination d'une relation entre la période et le rayon, par observation-calculs sur ces deux suites de nombres

Faire saisir dans un tableur les résultats sur lesquels la classe s'est arrêtée et demander aux élèves d'établir empiriquement une relation entre  $T$  et  $R$ .

Faire d'abord chercher s'il y a proportionnalité entre  $T$  et  $R$ . Comme ce n'est pas le cas, proposer aux élèves d'élever au carré, au cube...  $T$  et  $R$  et de rechercher une relation de proportionnalité.

Il s'agit d'arriver à la relation  $R^3 / T^2 = \text{constante}$ , qui est la troisième loi de Képler.

Une suggestion : proposer aux élèves d'élever les valeurs de  $T$  et de  $R$  à certains exposants, successivement et méthodiquement, pour découvrir une relation de proportionnalité entre  $R^3$  et  $T^2$ , à partir des colonnes de nombres, ou bien proposer de faire un graphique en mettant  $T$  en abscisse et  $R$  seulement en ordonnée, puis  $T^2$  en abscisse et successivement, en ordonnée,  $R$ , puis  $R^2$ , puis  $R^3$ .

#### Pour le professeur

On peut établir cette loi par analyse dimensionnelle. La loi d'attraction de Newton entre deux masses  $M$  et  $m$  s'écrit :

$$F = G \frac{Mm}{R^2}$$

où  $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$  est la constante universelle de la gravitation et  $R$  la distance entre les deux masses. On fait l'hypothèse que les forces qui agissent sur un satellite donné et qui sont responsables de son mouvement de rotation sont uniquement dues à l'attraction gravitationnelle exercée par Jupiter (en particulier, on néglige l'attraction gravitationnelle exercée par les autres satellites). On cherche une relation algébrique faisant intervenir uniquement des puissances entières de  $R^6$  et de  $T$ , des masses  $M_J$  (de Jupiter) et  $m_S$  (du satellite) et de  $G$ . Puisqu'une force (qui s'exprime en  $\text{N}^7$ ) est le produit d'une masse (en kg) par une accélération (en  $\text{m s}^{-2}$ ), la dimension de  $G$  est donc :

$$\frac{[\text{longueur}]^3}{[\text{masse}] \times [\text{temps}]^2}$$

<sup>6</sup> Rappelons que nous avons supposé la trajectoire circulaire.

<sup>7</sup> Newton

Dans ce qu'on cherche, il entre en jeu une seule longueur,  $R$ , et un seul temps,  $T$ , et deux masses,  $M_J$  et  $m_S$ . Cependant, la masse de Jupiter,  $M_J$ , est bien plus grande que la masse du satellite,  $m_S$ , qu'on peut ainsi négliger devant  $M_J$ . Une fonction arbitraire, ayant la dimension d'une masse et faisant intervenir les données du problème, est de la forme  $M = a M_J + b m_S$ , où  $a$  et  $b$  désignent des constantes sans dimension. En négligeant  $m_S$  devant  $M_J$ , on obtient  $a M_J + b m_S \approx a M_J$ , en supposant  $a \neq 0$ .

Mais, d'après ce qui précède,  $GM$  a la dimension  $[longueur]^3 / [temps]^2$ . En écrivant

$$\frac{R^3}{T^2} = GM = aGM_J,$$

on obtient une relation qui ne dépend pas du satellite et qui est la troisième loi de Képler.

Demander aux binômes d'élèves, regroupés par deux, de produire un poster présentant les résultats obtenus sur ces trois séances, ainsi que les méthodes à mettre en avant.

#### **Séance 4 : présentation des posters**

Les groupes d'élèves présentent leurs posters à toute la classe et à un jury. Chaque groupe doit préparer des questions à poser aux élèves.

Proposer un jury pluridisciplinaire, constitué des professeurs de mathématiques, SPC et SVT.