

Planétaire à l'échelle humaine

Réalisé par des chercheurs de l'IMCCE/UPMC avec le soutien du projet européen EU-HOU/UPMC et du PRES Sorbonne Universités

N. Rambaux(1,2) & P. Rocher(2)

(1) Université Pierre et Marie Curie, UPMC - Paris 06

(2) IMCCE, Observatoire de Paris, CNRS UMR 8028

Nicolas.Rambaux@imcce.fr, Patrick.Rocher@imcce.fr

8 Avril 2014

Introduction

Le planétaire est un système mécanique qui représente le système solaire. C'était un automate du système solaire qui était construit par les horlogers et avait une portée pédagogique forte pour illustrer, décrire, et expliquer les orbites des planètes et des satellites du système solaire. Le but de ce projet de planétaire à échelle humaine proposé à l'UPMC est d'ajouter une dimension kinesthésique à cet apprentissage. Selon certaines études, l'acquisition de connaissance est souvent favorisée par une participation active.

Activités pédagogiques autour du planétaire

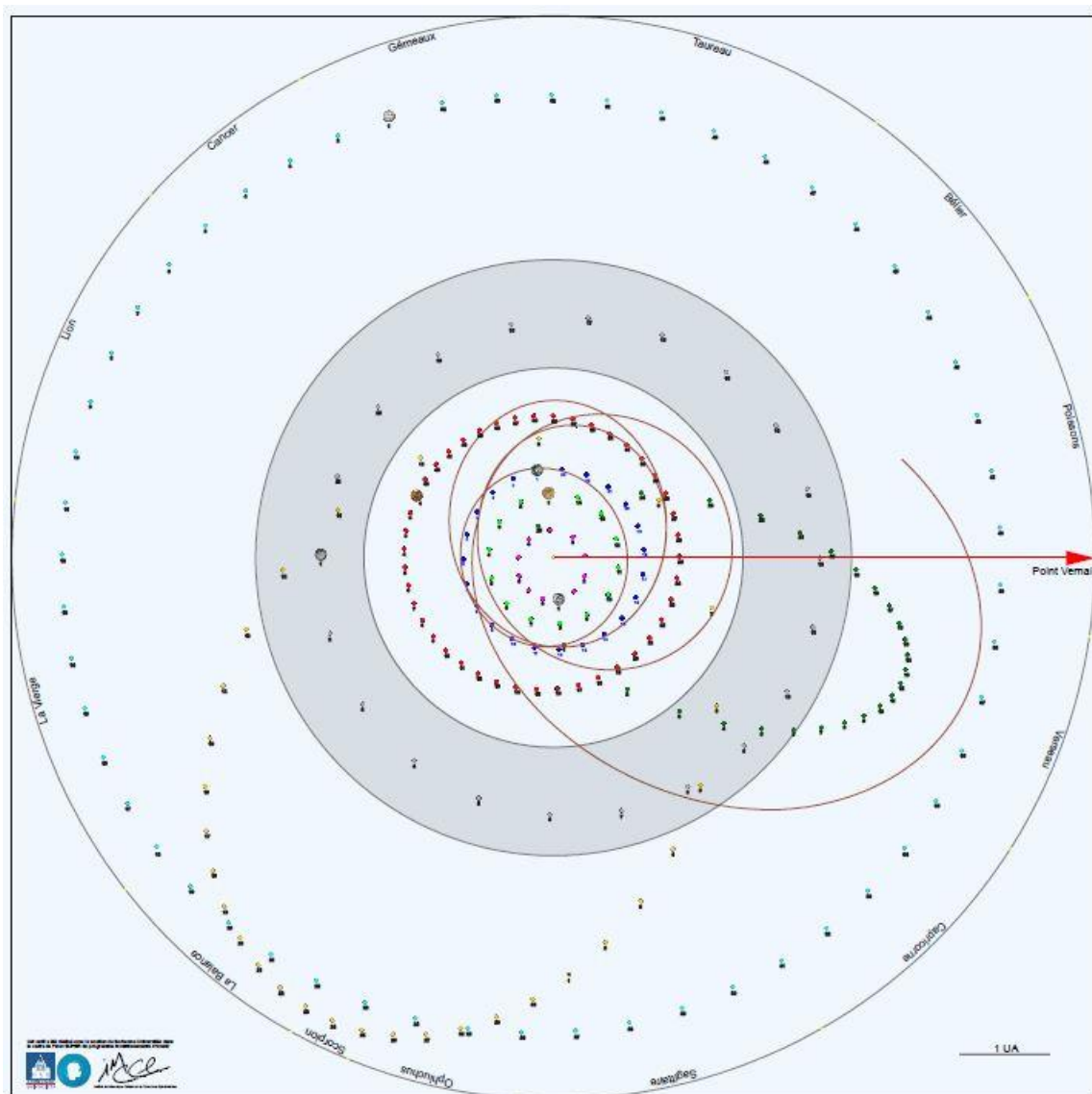
Dans une première approche, cette activité permet de prendre conscience de la nature des orbites, quasi circulaire, et des propriétés des différents objets (saisons de la Terre en particulier). Pour l'enseignement dans le cycle secondaire et à l'université, cette activité permet d'introduire de manière interactive les lois de la mécanique céleste, de ressentir la signification de la loi de la gravitation, de comparer différents types de rotation. Dans un second temps, des mesures simples peuvent être effectuées (relier vitesse et distance, observer le mouvement des planètes vu depuis la Terre...). Enfin, à un niveau supérieur, ou dans le cadre d'un TPE, des modélisations (informatiques) peuvent venir compléter ces mesures et ainsi permettre la compréhension des limites des modèles (physique/informatique). Enfin, l'astronomie est une science d'observation avec très peu d'expériences réalisables à l'école ou à l'université. Le planétaire permet donc de faire des observations et des expériences à la portée de tous.

Ce document présente la structure d'un planétaire. Pour mieux appréhender les activités pédagogiques associées, des formations sont proposées par EU-HOU¹.

¹ Contactez Anne-Laure Melchior, anne-laure.melchior@upmc.fr, ou Emmanuel Rollinde, rollinde@iap.fr

1. Structure du planétaire

Le système solaire se compose de huit planètes², quatre telluriques, et quatre géantes gazeuses. Il y a aussi des astéroïdes, des planètes naines, des protoplanètes, des comètes, des transneptuniens et des poussières. Il y a donc une grande diversité de corps dans le système solaire. Cependant, leurs mouvements est régit suivant une seule et même loi (pour les plus gros d'un diamètre supérieur à quelques mètres), celle de la gravitation universelle avec le principe de l'inertie (on se place ici dans le cadre de la mécanique newtonienne).



² <http://www.iau.org/publicpress/news/detail/iau0603/>

L'échelle choisie pour le planétaire de l'UPMC est de 1 m pour 1 UA. La Terre est donc à 1 mètre en moyenne du centre du planétaire ; l'orbite de Jupiter a un diamètre d'environ 10.5 m ; la structure du planétaire est ainsi de 12 m sur 12 m.

Cette taille est minimale pour pouvoir se déplacer sur les premières orbites jusqu'à la Terre. Selon l'espace disponible, vous pouvez modifier l'échelle pour avoir une structure plus grande et donc plus d'espace au centre. Vous pouvez également ajouter les planètes après Jupiter si vous avez un très grand espace !

Corps représentés sur le planétaire

Les planètes : Mercure (résonance spin-orbite 3/2; surface très chaude + 450°C le jour et très froide la nuit), Vénus (rotation rétrograde, atmosphère épaisse, effet de serre important), la Terre, Mars (mouvement de rétrogradation, présence d'eau liquide dans le passé), Jupiter (planète géante, diamètre 11 fois celui de la Terre). En fonction de la place disponible pour la construction du planétaire, il est possible de rajouter d'autres planètes.

Ceinture d'astéroïdes : la ceinture d'astéroïdes est la zone contenue entre Mars et Jupiter (dans les deux cercles concentriques grisés sur la Figure ci-dessus). L'orbite de Cérès, le plus gros des astéroïdes avec un rayon de 487,3 km, est représentée. Cérès sera visité par la mission spatiale Dawn (NASA) en 2015.

Deux comètes : 2P/Encke et 67P/Churyumov-Gerasimenko qui est l'objectif de la sonde Rosetta (mission de l'ESA). Leurs orbites, très elliptiques, sont orientées vers la droite pour la première et vers le bas pour la seconde.

Une mission spatiale : Rosetta mission spatiale de l'ESA dédiée à l'étude des petits corps du système solaire. Elle a déjà effectué des survols et des études des astéroïdes Steins et Lutétia. Elle est actuellement en route pour étudier la comète 67P/Churyumov-Gerasimenko en détail. Sa trajectoire (représentée avec un tracé fin marron) illustre le principe d'assistance gravitationnelle. L'ESA a réussi l'exploit de réveiller la sonde après 31 mois d'hibernation le 20 janvier 2014³.

Tableau 1 : Code de couleur pour chaque corps

Corps	Couleur
Mercure	Rose
Vénus	Vert clair
Terre	Bleu foncé
Mars	Rouge
Jupiter	Bleu ciel
Cérès	Gris
Ceinture d'astéroïdes	Partie grisée
2P/Encke	Vert foncé
67P/Churyumov-Gerasimenko	Jaune
Rosetta	Marron

³ <http://sci.esa.int/rosetta/>

Repère

Les orbites des corps célestes dans le système solaire sont en trois dimensions et sont repérées dans un système de référence inertiel dont l'origine est le barycentre du système solaire et l'axe x pointe vers le point vernal⁴ (ou point γ). Pour le planétaire, l'origine du système de référence est le centre du Soleil et toutes les orbites sont ramenées dans un seul et même plan.

2. Les orbites

La date initiale du planétaire est le 1er janvier 2014 à 12h soit à la date julienne 2 456659.000000. Les médaillons (points sur la Figure) représentent les positions des planètes, comètes et astéroïdes qui évoluent dans le futur.

On peut aussi utiliser les trajectoires dans le passé en inversant l'ordre des médaillons.

Les périodes des orbites issues des éphémérides sont modifiées de façon à avoir des périodes entières et commensurables avec 16 (sauf pour Mercure dont le rapport est demi entier). Le fonctionnement du planétaire est décrit dans la section suivante. La table 2 ci-dessous donne les valeurs issues des éphémérides et les valeurs utilisées pour le planétaire, ainsi que l'espacement entre chaque médaillon et le nombre de médaillons.

Tableau 2 : Comparaison des périodes et distribution des médaillons. (a) Pour Mercure, il faut sauter un médaillon sur deux.

Corps	Période des Ephémérides (jours)	Période du Planétaire (Jours)	Ecart de temps entre deux médaillons (jours)	Nombre de médaillons
Mercure (a)	87.969	88	8	11
Vénus	224.708	224	16	14
Terre	365.262	368	16	23
Mars	686.955	668	16	43
Jupiter	4334.452	4320	80	54
Cérès	1681.014	1680	80	21
Encke	1203.893	1200	48	25
Churyumov-Gerasimenko	2354.227	2400	80	30

Le tableau 4 donne la distance moyenne au Soleil des corps au cours de leur orbite. L'unité de distance astronomique est par définition la distance moyenne de la Terre au Soleil.

⁴ Direction de l'équinoxe de printemps.

Tableau 3 : Distance moyenne au Soleil de chaque corps en unité astronomique

Corps	Distance moyenne au soleil (UA)				
	Mercure	0.387	Terre	1.000	Jupiter
Vénus	0.723	Mars	1.524		

Le tracé fin marron représente la trajectoire effectuée par la sonde Européenne Rosetta jusqu'au 1er janvier 2014 (il s'agit donc de sa trajectoire passée).

Complément : Eléments orbitaux et calcul d'orbites

Les positions initiales des planètes, astéroïdes et comètes sont issues des éphémérides de l'IMCCE. Les orbites de ces corps sont des ellipses dont les propriétés géométriques sont définies par les paramètres décrits dans la table 3. Toutes ces variables sont classiques et on se rapportera, par exemple, au cours en ligne de Luc Duriez⁵ pour une description précise de ces variables et leur valeur pour les différentes planètes. A partir de ces éléments, on peut calculer les orbites des différents corps et leur position au cours du temps.

Tableau 4 : propriétés géométriques des orbites des corps

Paramètres	Définition
a	le demi-grand axe (UA)
e	l'excentricité
i	l'inclinaison en degré
L	la longitude moyenne en degré
N	le moyen mouvement en degré par jour
$\bar{\omega}$	la longitude du périhélie en degré
Ω	la longitude du noeud ascendant en degré
ω	l'argument du périhélie en degré
M	l'anomalie vraie en degré

Le périhélie est le point de l'orbite le plus proche du Soleil.

Conclusion

Vous avez différents moyens pour construire ce planétaire : à la main avec des cordes et des craies, en utilisant une bâche créée par l'UPMC et l'IMCCE et financée par le PRES Sorbonne Universités, en construisant votre propre planétaire...

Dans tous les cas, n'hésitez pas à nous demander conseils pour cette réalisation, et venez profiter des formations à l'astronomie organisées par EU-HOU à Paris ou à domicile !

⁵http://lal.univ-lille1.fr/mecanique_celeste.html