

RÉALISATION

L'Orbilune

une maquette pour comprendre les mouvements de la Lune

Philippe Merlin, Observatoire de Lyon

L'Orbilune est une maquette tridimensionnelle, à construire soi-même, pour expliquer tous les mouvements de la Lune, ses phases et surtout les éclipses et leurs prédictions. Il allie donc un travail manuel à une connaissance approfondie de notre satellite en relation au calendrier et aux saisons.

La maquette construite et présentée ci-après est issue d'un travail commun entre l'Observatoire de Lyon et une classe de CM2. Elle pourra également répondre à la demande d'enseignants de tous niveaux confrontés au problème d'expliquer les mouvements de la Lune et les éclipses de façon non superficielle.

La Lune, notre plus proche voisine, sous un faux aspect de régularité (mois lunaire), cache une complexité étonnante dans tous ses aspects et mouvements.

À cause de l'inclinaison de son orbite sur le plan de celle de la Terre (écliptique) et des perturbations dues principalement au Soleil, les phénomènes ne se répètent pas systématiquement d'une lunaison à l'autre et d'une année à l'autre.

Pour simuler de façon réaliste la Lune sur son orbite, une maquette permet de mieux visualiser dans l'espace les positions respectives des trois corps Terre, Lune et Soleil. Les repères temporels (calendriers et années) permettent aussi de faire évoluer le système sur une plage de vingt ans.

Descriptif de la maquette

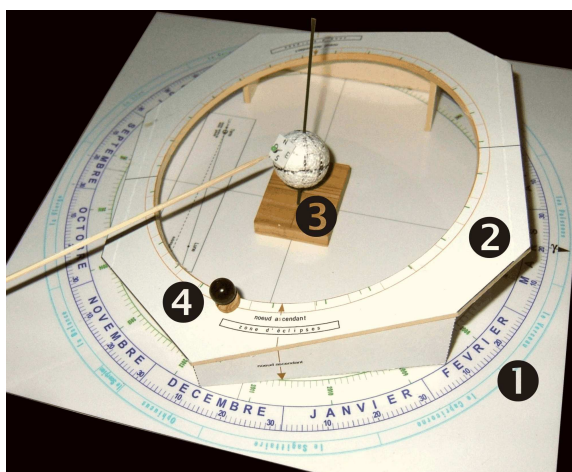


Fig.1. Vue d'ensemble de L'Orbilune

Elle comprend (figure 1) :

1. Un **plateau éclipseptique**, parallèle au *plan de l'éclipseptique*, plan de l'orbite de la Terre autour du

Soleil (figure 2). Sur ce plateau, sont tracés un calendrier circulaire permettant au cours de l'année de visualiser les directions du Soleil et de ses rayons (en bleu nuit) ainsi qu'une graduation circulaire en année donnant la direction du nœud ascendant de l'orbite de la Lune (en vert). Une couronne extérieure (bleu clair) donne la position des constellations du Zodiaque.

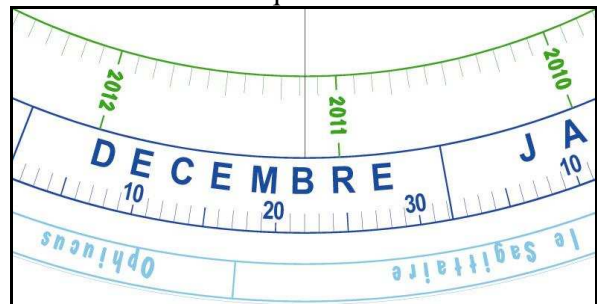


Fig.2. Le plateau éclipseptique

2. Un **plan incliné** mobile (figure 3), sur lequel est tracée l'orbite de la Lune (cercle de diamètre de 8,5 cm). Il est placé et orienté sur le plateau-éclipseptique en fonction de l'année et du mois de simulation. Le plan est évidé à l'intérieur de l'orbite pour y placer la Terre et faciliter l'observation.

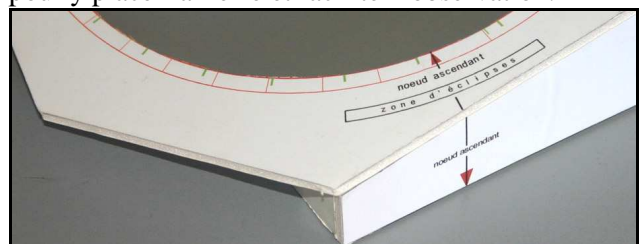


Fig.3. L'orbite de la Lune

3. Une petite **maquette Terre** et son support placés au centre du plateau-éclipseptique, avec son axe de rotation incliné de $23^{\circ} 26'$. Sur cette Terre on y place un petit carré de carton tenu par une épingle (figure 4). Le carton simule le plan horizon avec les quatre points cardinaux et l'épingle sert de verticale pour le lieu de latitude choisie.

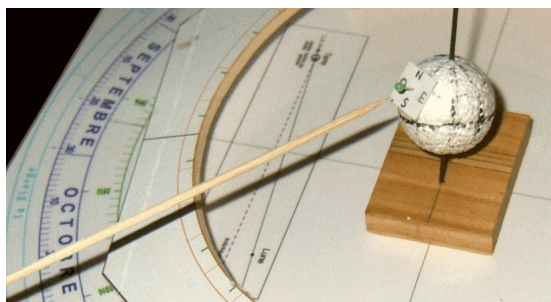


Fig.4. La Terre avec plan horizon et verticale d'un observateur. La baguette représente un rayon solaire.

4. Une petite **maquette Lune** de taille approximativement en rapport avec la petite Terre.

Les rayons solaires peuvent être matérialisés par la lumière d'une lampe qui permet de simuler les variations d'éclairement sur la Lune au cours des lunaisons et sur la Terre au cours de la journée (rotation sur elle-même et ombre de l'épingle sur le plan horizon) et au cours de l'année (orientation suivant le calendrier). On peut aussi utiliser une baguette telle que montrée sur la figure 2. Celle-ci parallèle au plan de l'écliptique est orientée suivant le jour du calendrier pour montrer les variations de cette direction au cours de l'année. De plus son inclinaison par rapport au petit plan horizon et à sa verticale donne l'inclinaison des rayons du Soleil sur le lieu choisi par l'épingle et sa variation au cours de la journée en faisant tourner la Terre sur elle-même.

Remarque 1 : pour visualiser sans trop de difficulté les phénomènes des éclipses, l'inclinaison du plan de l'orbite de la Lune sur l'écliptique, qui est en réalité de $5,15^\circ$, a été doublée.

Remarque 2 : la maquette ne permet pas de simuler l'avance rapide du périégée (période 8,85 ans) qui influence la nature des éclipses de Soleil (annulaires ou totales). À l'échelle de la maquette, on peut juste vérifier que l'orbite de la Lune est excentrée, en regard des positions notablement différentes du centre de l'orbite, du centre de la Terre et du centre de gravité du système Terre-Lune (figure 5).

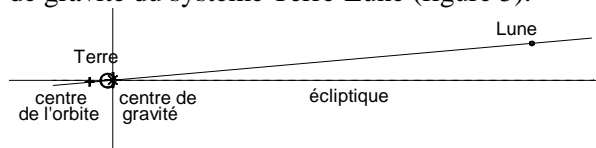


Fig.5. La Terre, la Lune avec le centre de l'orbite de la Lune et le centre de gravité (centre de masse) du système Terre-Lune. La Lune est représentée ici au périégée.

Un modèle plus complexe existe avec une orbite elliptique mobile sur le plan de l'orbite qui permet la rotation du périégée. La construction et la manipulation s'en trouvent compliquées. Pour une utilisation simple, le modèle de base est préférable.

Construction

Le dossier complet est en ligne sur le site de l'Observatoire de Lyon, aux pages de la formation continue des enseignants : <http://www-obs.univ-lyon1.fr/labo/fc/orbilune/orbilune.htm> On y trouve tous les fichiers (PDF) à imprimer : plan de l'écliptique, plan de l'orbite de la Lune, dossier complet d'explications de chaque partie et des renseignements sous forme de tableaux pour l'utilisation de l'an 2000 à 2020 (phases de la Lune, éclipses...).

Deux modèles sont proposés, l'un à imprimer sur bristol l'autre à coller sur carton plume (plus rigide et résistant).

Les principaux outils à utiliser sont une paire de ciseaux ou un cutter (indispensable pour le carton plume), une règle, de la colle et du soin.

Vous trouverez aussi sur le site différents conseils en particulier pour fabriquer la Terre et la Lune.

Utilisation

La maquette se propose de simuler un certain nombre de phénomènes astronomiques liés à la Lune, à la Terre et au couple Terre-Lune sous l'éclairage du Soleil.

Positionnement de la Terre

En premier lieu, il faut placer la Terre correctement pour que son inclinaison donne bien les saisons en fonction de l'orientation du Soleil. C'est un premier travail de réflexion. Ceci se fait à l'aide des positions remarquables équinoxes et solstices : aux équinoxes, pour avoir les durées du jour et de la nuit égales, la limite jour nuit doit passer par les pôles ; au solstice d'été, les rayons doivent éclairer le pôle nord alors que le pôle Sud est dans la nuit. Au solstice d'hiver, l'éclairage des pôles est inversé.

On peut se demander à quelle distance doit se trouver le Soleil à l'échelle de l'orbite de la Lune de la maquette ? Et, question un peu plus approfondie, quelles sont les distances au périhélie et à l'aphélie ?

Positionnement de l'orbite de la Lune

Pour une date donnée, la partie orbite de la Lune se place sur le plan écliptique, en alignant le repère brun latéral *noeud ascendant* sur la graduation circulaire verte des années et des mois (figure 6). Les bases des deux supports verticaux latéraux doivent être inscrites dans le cercle intérieur bleu foncé du calendrier (figure 1).

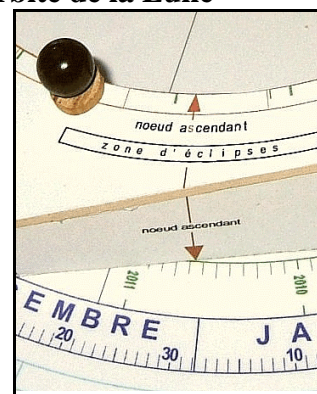


Fig.6. Réglage de l'orbite de la Lune

Mouvements de la Lune

La maquette permet de définir les principales périodes de la Lune en faisant apparaître que lors de sa révolution autour de la Terre, simultanément, la direction du Soleil tourne en suivant le calendrier et le plan de l'orbite tourne, changeant la position du nœud. On pourra ainsi illustrer les différentes périodes et les définir :

1. Révolution autour de la Terre

Période de révolution **sidérale** (retour dans une même direction du ciel), période **synodique** (même configuration avec la Terre et le Soleil) et période **draconitique** (retour au nœud ascendant). On trouvera les définitions de ces périodes dans la documentation fournie sur la page web ou dans tout bon livre d'astronomie.

On pourra se demander, en cherchant les différents sens de rotation pourquoi la période draconitique est plus courte que la période sidérale, qui elle-même est plus courte que la lunaison.

Pour bien montrer les différences entre toutes ces périodes, on insistera sur le fait qu'au cours d'une lunaison, la direction du Soleil a changé (révolution de la Terre sur son orbite dans le sens inverse des aiguilles d'une montre vue du nord ou sens direct) et aussi que le plan de l'orbite de la Lune a tourné (pratiquement une petite graduation du repère des nœuds dans le sens rétrograde ou sens des aiguilles d'une montre).

Le sens de rotation est important : sens direct pour la Terre et la Lune sur elles-mêmes et sur leurs orbites (toujours vues du nord), sens rétrograde pour la rotation du plan de l'orbite de la Lune.

2. Rotation sur elle-même

On fera apparaître, pour expliquer la synchronisation de la rotation de la Lune sur elle-même avec sa rotation autour de la Terre, que la Lune doit aussi tourner sur elle-même par rapport aux étoiles lointaines, avec la même période que la période sidérale, pour toujours montrer la même face à la Terre, en mettant un petit repère sur la Lune. Ce repère changera de direction par rapport à l'environnement lointain au cours de la lunaison.

Phases de la Lune

En jouant sur les positions respectives de la Lune et du Soleil, on fait apparaître que la partie éclairée de la Lune visible de la Terre présente un aspect de phase. On peut définir les différentes positions : nouvelle Lune, premier quartier, pleine Lune, dernier quartier. En se référant à la zone zodiacale, on verra que d'une lunaison à l'autre, la Lune n'est pas dans la même partie du ciel.

Variation des heures de lever et coucher de la Lune au cours de la lunaison

Avec l'aide de la rotation diurne de la Terre, du petit plan horizon et de la direction du Soleil, on pourra montrer que les heures de lever et coucher de la Lune varient tout au long de la lunaison et des saisons.

Position de la Lune au-dessus de l'horizon suivant l'époque de l'année

En se plaçant à différentes époques de l'année, on montrera que lors de son passage au méridien, aux différentes phases, la Lune peut être très haute ou très basse sur l'horizon. Cette hauteur de passage est à associer à la durée de visibilité de la Lune variant de 7 h 35 min à presque 17 h sous nos latitudes pour un horizon sans relief. Ceci est à relier aussi à la position du Soleil sur l'écliptique suivant les saisons.

Les éclipses

La maquette permet de simuler les positions respectives de la Lune et de la Terre lors des éclipses aux pleines lunes (éclipses de Lune) et nouvelles lunes (éclipses de Soleil). On fera apparaître qu'à chaque lunaison, il n'y a pas systématiquement éclipse à cause de l'inclinaison du plan de l'orbite de la Lune.

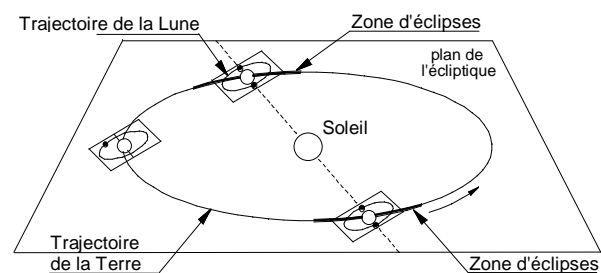


Fig.7. Plan de l'orbite de la Lune et plan de l'écliptique

1. Il n'y a éclipse que si, à la pleine Lune ou à la nouvelle Lune, la Lune est proche du plan de l'orbite de la Terre, le plan écliptique (d'où l'origine du mot), donc près des nœuds de l'orbite (intersections de l'orbite de la Lune et du plan de l'écliptique).
2. On fait alors apparaître que si, un jour donné, il y a une éclipse de Lune ou de Soleil, quinze jours avant ou après, la Lune est encore proche du plan de l'écliptique et qu'il y a toujours une autre éclipse, mais de l'autre type (de Soleil ou de Lune). Le tableau des éclipses fourni dans la documentation permet d'analyser ce phénomène.
3. En suivant les lunaisons successives sur un an, on fait apparaître qu'en général, il y a au moins deux éclipses de Soleil et deux éclipses de Lune par an.

Dates des éclipses

Puisqu'une éclipse ne peut se produire que si la Lune est près d'un des nœuds de son orbite, l'alignement

de la Terre, de la Lune et du Soleil entraîne que le Soleil doit aussi être proche de la direction d'un nœud de la Lune.

Pour un millésime donné, on positionne le repère du nœud ascendant au milieu de l'année indiquée en utilisant la graduation interne du plan de l'écliptique. Les deux repères des nœuds ascendant et descendant vont indiquer grâce au calendrier, à six mois d'intervalle, les dates approximatives (mois et jours) où peuvent se produire les éclipses.

Pour finaliser les dates, on positionne le repère du nœud ascendant qui était au milieu de l'année, pour l'une des époques approximatives.

Si l'on possède les prévisions des lunaisons, il suffit de trouver la date de la nouvelle Lune ou la pleine Lune la plus proche de la date indiquée sur la maquette. Une pleine Lune donne une éclipse de Lune et une nouvelle Lune donne une éclipse de Soleil.

Une éclipse additionnelle peut être prévue, si le Soleil et la Lune à la prochaine pleine Lune ou nouvelle Lune sont encore dans la zone de possibilité d'éclipse ($\pm 17^\circ$ de part et d'autre des nœuds). On les appelle *éclipses associées*.

Plus rarement si une éclipse se produit avec un alignement très près de la ligne des nœuds, il y aura deux éclipses partielles associées de même type (mais type opposé à la première), l'une à la demi-lunaison précédente, l'autre à la demi-lunaison suivante. Par exemple, une éclipse totale de Lune très proche de la ligne des nœuds pourra être entourée de deux éclipses partielles de Soleil une quinzaine de jour avant et après. Une éclipse qui se produit très près des nœuds est une éclipse totale (ou éventuellement annulaire pour le Soleil), sinon elle sera partielle.

Un exemple : Les éclipses de l'année 2012.

On positionne le plan de l'orbite de la Lune pour le 1^{er} juillet 2012. La ligne des nœuds donne les dates :
 1. 27 novembre Soleil au nœud ascendant (fig.8a)
 2. 27 mai Soleil au nœud descendant (fig. 8b)



8a. Nœud ascendant

8b. Nœud descendant

Fig.8. Réglage de la ligne des nœuds pour 2012

Éclipse au nœud ascendant :

On positionne le plan de l'orbite pour la fin novembre (figure 9). On lit sur le calendrier, que le Soleil est alors à ce nœud le 21 novembre. De la table des lunaisons, on déduit éclipse de Lune à la pleine Lune le 28 novembre et éclipse de Soleil à la nouvelle Lune le 13 novembre.

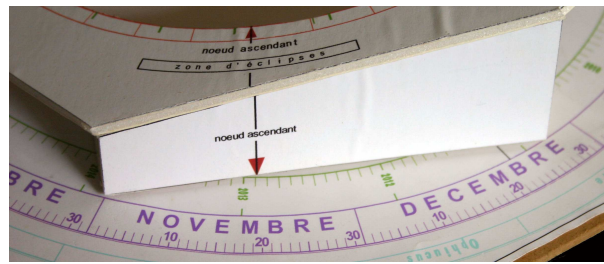


Fig.9. La ligne des nœuds pour fin novembre 2012

Éclipse au nœud descendant : on fait de même, le Soleil est au nœud le 30 mai, d'où l'on déduit une éclipse de Soleil le 20 mai à la nouvelle Lune et une éclipse de Lune le 4 juin à la pleine Lune.

Périodicité des éclipses

Le plan de l'orbite de la Lune tourne sur lui-même en 18,61 ans. Pendant ce temps, la Lune est passée 242 fois au nœud ascendant. Il s'est écoulée 242 périodes draconitiques.

Les positions des nœuds se déplaçant régulièrement, les dates d'éclipses se décalent d'une année sur l'autre.

La répétition des éclipses est donc conditionnée par deux périodes principales, la période synodique ou lunaison (pleine Lune, nouvelle Lune) et la période draconitique. La recherche d'un nombre proche d'un multiple de ces périodes par la méthode de décomposition des réels en fraction continue permet de retrouver la période dite du **SAROS** de reproduction presque à l'identique des éclipses. En effet :

223 mois synodiques de 29,5305882 j = 6585,321 j
 242 mois draconitiques de 27,212 2208 j = 6585,304 j
 Cette période de 6585,3 jours (18 ans, 11 jours et 7 heures) est appelée *Saros* et permet de prévoir le retour des éclipses.

Autres utilisations de la maquette

La petite maquette Terre seule, sans la partie de l'orbite de la Lune, peut servir à expliquer de nombreuses notions bien qu'une Terre plus grande permette mieux de visualiser les phénomènes (voir la grande maquette à <http://www-obs.univ-lyon1.fr/labo/fc/maquette.htm>).

Voici quelques exemples de notions abordables :

Les saisons, la durée du jour et de la nuit, le soleil de minuit, le jour solaire et le jour sidéral, la position du Soleil dans le zodiaque, la précession des équinoxes...

Ce document ne pouvant être exhaustif, commentaires, suggestions, critiques ou demandes de renseignement sont à faire à merlin@obs.univ-lyon1.fr.

Les calculs faits pour construire la maquette sont basés sur les éphémérides fournies par l'IMCCE (www.imcce.fr). Ses pages Grand public apportent des documents de premier ordre sur tous les phénomènes du système solaire.