

# Astronomie

## Le système solaire

## I.2 Tableau de données des planètes telluriques

Les tableaux des deux pages qui suivent rassemblent les données physiques et orbitales des **quatre planètes telluriques et des quatre planètes géantes** du système solaire. La valeur minimale, pour une propriété donnée, est encadrée en **bleu** et la valeur maximale, en **rouge**.

La distance moyenne au Soleil est, en fait, le demi-grand axe de l'ellipse décrite par la planète.

Planète	Mercure	Vénus	La Terre	Mars
Distance moyenne au Soleil 1 : en millions de kilomètres 2 : en unité astronomique	57,91	108,2	149,6	227,9
	0,3871	0,7233	1,000	1,524
Période de révolution	87 j 23 h	224 j 17 h	365 j 6 h	686 j 23 h
Excentricité de l'orbite	0,2056	0,0068	0,0167	0,0934
Inclinaison de l'orbite sur l'écliptique	7,00°	3,39°	0° (par définition)	1,85°
Inclinaison de l'axe de rotation	0,035°	177,3°	23,44°	25,19°
Période de rotation	58 j 16 h	243 j 0 h (rétrograde)	23 h 56 min	24 h 37 min
Masse (Terre = 1)	0,0553	0,815	1,00	0,107
Diamètre équatorial (en kilomètres)	4 879	12 104	12 756	6 792
Densité (eau = 1)	5,43	5,20	5,52	3,93
Gravité à l'équateur (Terre = 1)	0,378	0,907	1,00	0,377
Constituants atmosphériques	Atmosphère quasi inexistante	CO <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Ar	CO <sub>2</sub> N <sub>2</sub> Ar
Température	Min. : - 200 °C Max. : 430 °C	460 °C	Min. : - 90 °C Moy. : 15 °C Max. : 60 °C	Min. : - 140 °C Moy. : - 60 °C Max. : 20 °C
Nombre de satellites connus	0	0	1	2

## I.3 Tableau de données des planètes géantes

Planète	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
<b>Distance moyenne au Soleil</b> 1 : en millions de kilomètres 2 : en unité astronomique	778,3 5,203	1 429 9,537	2 875 19,23	4 504 30,10
<b>Période de révolution</b>	11 ans 315 j	29 ans 167 j	84 ans 7 j	164 ans 281 j
<b>Excentricité de l'orbite</b>	0,0485	0,0555	0,0464	0,0095
<b>Inclinaison de l'orbite sur l'écliptique</b>	1,30°	2,49°	0,77°	1,77°
<b>Inclinaison de l'axe de rotation</b>	3,13°	26,73°	97,86°	28,31°
<b>Période de rotation</b>	9 h 55 min	10 h 39 min	17 h 14 min (rétrograde)	16 h 7 min
<b>Masse (Terre = 1)</b>	318	95,2	14,5	17,1
<b>Diamètre équatorial (en kilomètres)</b>	142 984	120 536	51 118	49 530
<b>Densité (eau = 1)</b>	1,33	0,687	1,27	1,64
<b>Gravité à l'équateur (Terre = 1)</b>	2,36	0,916	0,889	1,12
<b>Constituants atmosphériques</b>	H <sub>2</sub> He	H <sub>2</sub> He	H <sub>2</sub> He CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> He CH <sub>4</sub>
<b>Température</b>	- 150 °C (au sommet des nuages)	- 180 °C (au sommet des nuages)	- 200 °C (au sommet des nuages)	- 200 °C (au sommet des nuages)
<b>Nombre de satellites connus</b>	67	62	27	14

## II Visibilité des planètes à l'œil nu

### II.1 Rappel important

La Terre est animée de plusieurs mouvements, les deux principaux étant sa rotation autour de l'axe des pôles en 24 h, le second étant sa révolution autour du Soleil en un an. Le premier mouvement a pour conséquence le **mouvement diurne**, qui emporte la voûte céleste dans une rotation d'est en ouest autour d'un axe passant près de l'étoile Polaire et fait faire à cette voûte un tour complet en 24 h... Soleil y compris. Le second a pour conséquence le **mouvement annuel**, ce léger glissement quotidien du Soleil vers l'est, à hauteur de 1° par jour. En un an, la trajectoire du Soleil définit un grand cercle appelé **écliptique**.

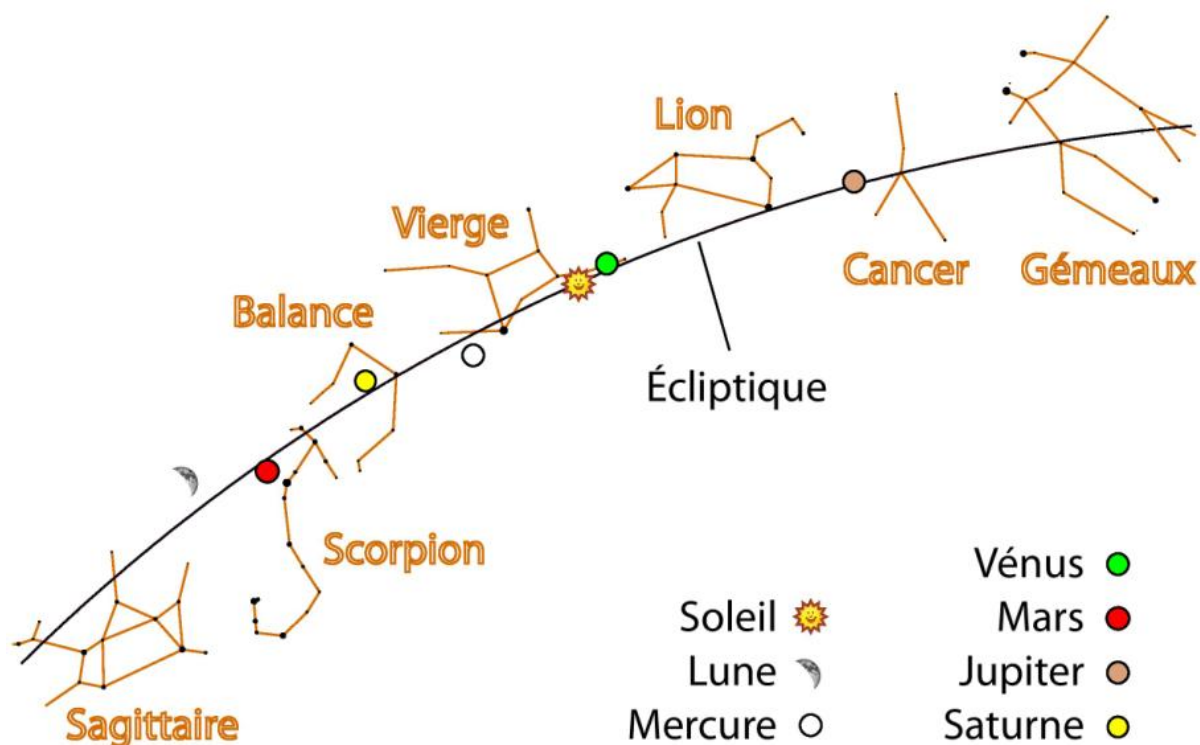
### II.2 Visibilité des planètes à l'œil nu

**Cinq** des huit **planètes sont visibles** sans difficulté à **l'œil nu**. Elles font même partie des objets les plus lumineux du ciel nocturne. Il s'agit de Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne.

Dès l'Antiquité, les anciens ont fait la différence entre *étoile* et *planète* : les étoiles restent fixes les unes par rapport aux autres au fil des années, alors que les planètes se déplacent à travers les champs d'étoiles. D'ailleurs, en ancien grec, *πλανήτης αστήρης* (*planêtês astêrês*) signifiait « astre errant, astre vagabond ». Certaines planètes sont rapides (Mercure, Vénus) et leur mouvement par rapport aux étoiles est aisément perceptible d'un jour sur l'autre. D'autres planètes comme Jupiter et Saturne sont beaucoup plus lentes. Quelques jours à quelques semaines d'observation suffisent toutefois à prouver leur nature planétaire. La vitesse de déplacement des planètes dépend de leur distance au Soleil, les plus proches étant les plus rapides.

De même, on s'est rapidement aperçu que le Soleil, la Lune et les planètes ne se déplacent pas n'importe où dans le ciel, mais uniquement devant les **constellations du zodiaque**. Sur la sphère céleste, celles-ci forment une bande d'une quinzaine de degrés d'épaisseur centrée sur l'écliptique. Attention à ne pas confondre *constellation du zodiaque* et *signe du zodiaque* ! Il existe 12 signes, ayant tous la même largeur (30°), mais 13 constellations du zodiaque, de largeur différente et qui ne coïncident pas avec les signes. À titre d'exemple, au niveau de l'écliptique, la constellation du Scorpion n'a que 6,5° de largeur contre 45° pour la Vierge ! La 13<sup>e</sup> constellation du zodiaque se situe entre le Scorpion et la Sagittaire et se nomme Ophiucus. Elle est traversée par le Soleil entre le 30 novembre et le 17 décembre.

Ainsi, vues depuis la Terre, les planètes sont toujours plus ou moins alignées (voir le schéma de la page suivante). Il n'y a rien d'étonnant à cela : prenez du recul et imaginez les planètes tournant autour du Soleil. Toutes tournent quasiment dans le même plan, plan auquel la Terre appartient. Il porte le nom de *plan de l'écliptique*. L'intersection de ce plan avec la sphère céleste n'est autre que l'écliptique, que nous avons déjà rencontré.



Configuration du ciel le 30 septembre 2014. Le Soleil, la Lune et les planètes sont pratiquement alignés sur l'écliptique. Notez que la Lune se trouve alors officiellement dans la 13<sup>e</sup> constellation du zodiaque, Ophiucus, non représentée ici.

Une carte du ciel fournit l'aspect du ciel visible à un instant donné pour une latitude donnée et la position des constellations. Comparez ce qui figure sur la carte à ce que voyez là-haut. Si, dans les constellations du zodiaque, apparaît un point au moins assez brillant qui ne figure pas sur la carte, c'est certainement une planète. Car on n'indique jamais les planètes sur les cartes du ciel ! La raison en est simple : les planètes se déplaçant, il faudrait créer une nouvelle carte pour chaque jour... Pour vérifier que l'astre que vous soupçonnez être une planète en est bien une, il vous suffit de l'observer nuit après nuit. S'il se déplace par rapport aux étoiles, il s'agit bien d'une planète !



La célèbre carte du ciel du regretté Pierre Bourge (1921 – 2013). Un grand classique !

### II.3 Cas des planètes inférieures

Mercure et Vénus sont deux **planètes inférieures**. Cela signifie que leur orbite est englobée par celle de la Terre. Elles sont toujours plus proches du Soleil que ne l'est notre planète.

Aussi, Mercure et Vénus ne s'écartent-elles jamais beaucoup de la direction de l'astre du jour. Mercure s'en éloignant au maximum de  $23^\circ$  en moyenne, elle est très souvent noyée dans les lueurs du levant ou du couchant sous nos latitudes. Au mieux, la discrète planète se lève deux heures avant le Soleil ou se couche deux heures après lui.

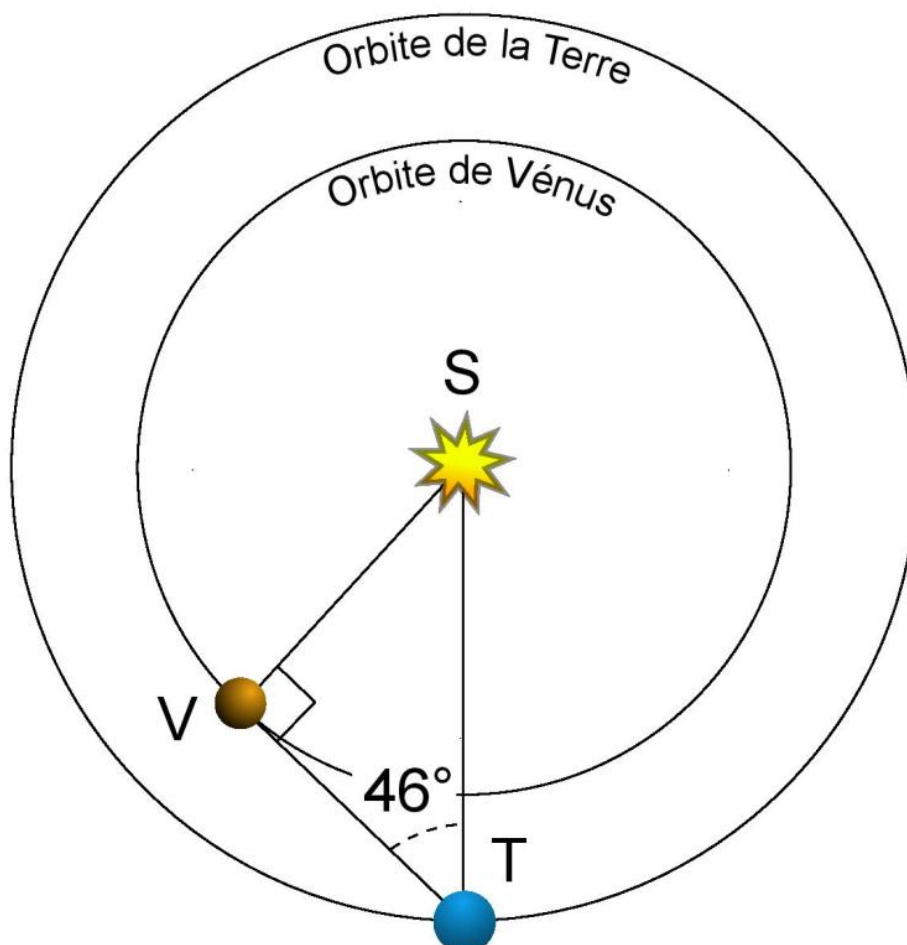
Vénus, elle, peut s'en éloigner un peu plus, d'environ  $46^\circ$ , et demeurer visible jusqu'à 4 h après le coucher du Soleil, ou se lever jusqu'à 4 h avant lui. Surnommée *l'étoile du berger*, Vénus est l'astre le plus brillant du ciel après le Soleil et la Lune.

Ces observations permettent de calculer simplement la distance relative de Mercure et de Vénus au Soleil. Dans le schéma de la page suivante,  $T$  est la Terre,  $V$  la planète Vénus et  $S$  le Soleil. Assimilons les orbites des planètes à des cercles. Lorsque l'élongation de Vénus est maximale

( $46^\circ$ ), le triangle SVT est rectangle en V. Ainsi,  $\frac{SV}{ST} = \sin(46^\circ)$  et donc  $SV = \sin(46^\circ) \times ST = 0,72 \text{ ST}$ .

Connaissant la distance Soleil – Terre, on en déduit la distance Soleil – Vénus.

Le même raisonnement appliqué à Mercure mène au résultat  $SM = 0,39 \text{ ST}$ .



Plus grande élongation de Vénus à l'est du Soleil. Dans cette configuration, la planète est visible le soir.

La Terre, Le Soleil et Mercure (ou Vénus) se retrouvent parfois alignés, dans cet ordre. Mercure (ou Vénus) est alors en **conjonction supérieure** et bien sûr, totalement inobservable.

La Terre, Mercure (ou Vénus) et le Soleil se retrouvent parfois alignés, dans cet ordre. Mercure (ou Vénus) est alors en **conjonction inférieure** et bien sûr, totalement inobservable. Sauf...

Sauf... lorsque l'alignement est parfait. Munis d'un instrument d'optique protégé du rayonnement aveuglant de notre étoile, nous pouvons alors observer le passage de la planète devant le disque solaire. Le dernier transit de Mercure prit place le 8 novembre 2006 et le prochain aura lieu le 9 mai 2016. Les transits de Vénus sont plus rares. Le dernier intervint le 6 juin 2012 et le prochain se produira le... 11 décembre 2117 !

## II.4 Cas des planètes supérieures

Contrairement aux planètes Mercure et Vénus, les planètes Mars, Jupiter et Saturne peuvent présenter toutes les élongations possibles par rapport au Soleil, car leur orbite englobe celle de la Terre.

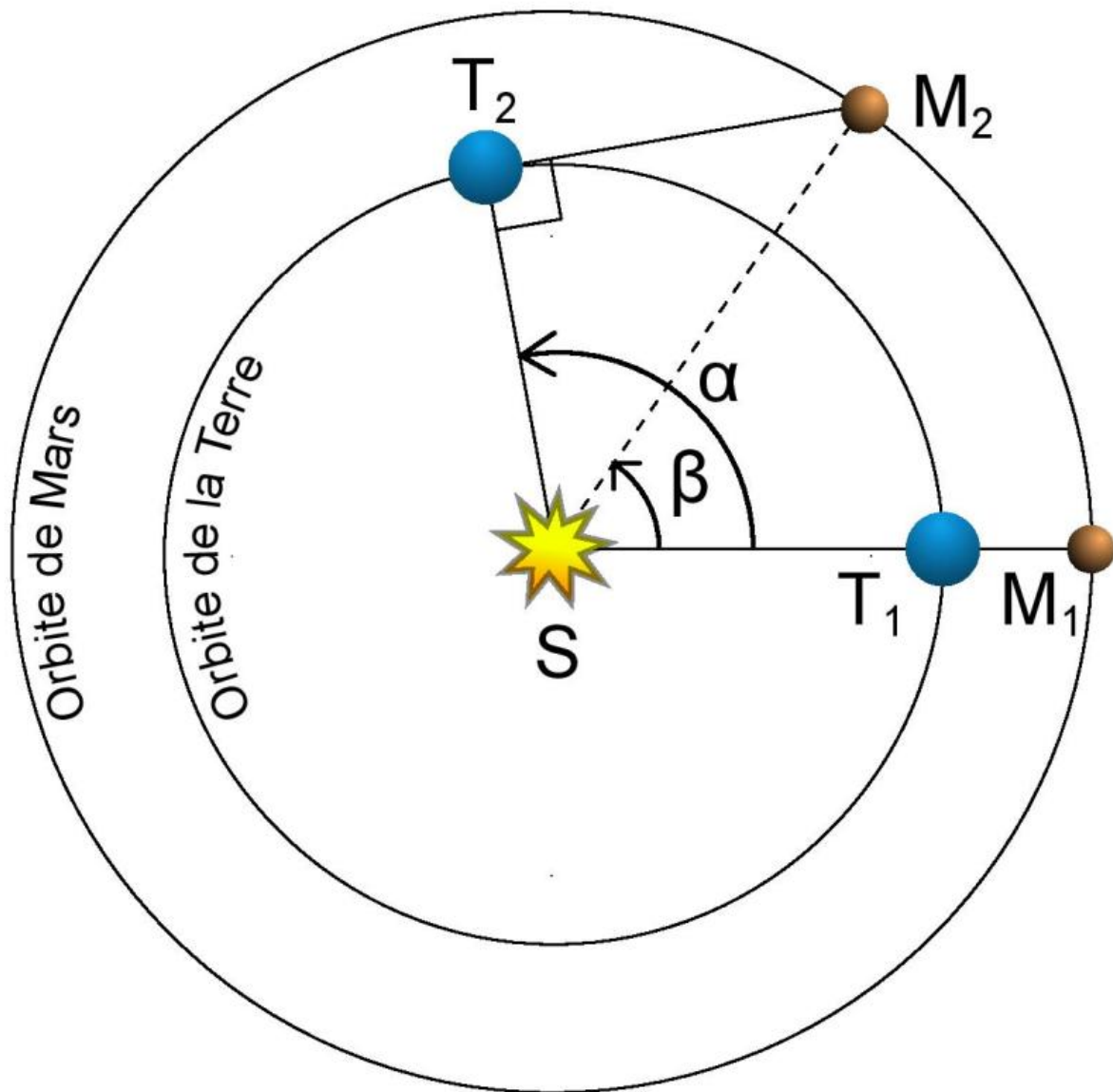
Les meilleures conditions d'observation des planètes supérieures s'opèrent lorsque le Soleil, la Terre et la planète en question sont alignés. Cette dernière est alors dite **en opposition**. Dans ces conditions, elle est visible toute la nuit dans notre ciel, se levant au moment où le Soleil se couche. C'est également la période où la planète est la plus brillante, puisque la distance Terre – planète est, à ce moment-là, minimale.

Il est possible de calculer la distance relative des planètes supérieures de la façon suivante, à partir de deux observations. Considérons le cas de Mars et le schéma ci-dessous. L'instant  $t_1$  marque son passage à l'opposition. Le Soleil, la Terre et Mars sont alignés. Le temps passant, la planète rouge prend du retard par rapport à la Terre. À l'instant  $t_2$ , on mesure un angle de  $90^\circ$  entre la direction du Soleil et celle de Mars. Cette dernière, passant en **quadrature** orientale, est alors visible en première partie de nuit dans notre ciel. Il s'est écoulé environ 106 jours depuis l'opposition.

Sachant que la Terre parcourt  $360^\circ$  en 365 jours, que vaut l'angle  $\alpha$  ? Une simple règle de trois donne  $\alpha \approx 104,5^\circ$ . L'année martienne s'élève à 687 jours. On a donc  $\beta \approx 55,5^\circ$ . L'angle  $T_2SM_2$ , qui est la différence entre  $\alpha$  et  $\beta$ , vaut  $49^\circ$ . Mars étant en quadrature, l'angle  $ST_2M_2$  est droit : le

triangle  $ST_2M_2$  est rectangle en  $T_2$ . Ainsi,  $\frac{ST_2}{SM_2} = \cos(49^\circ)$  d'où  $SM_2 = 1,5 ST_2$ .

Le même raisonnement appliqué à Jupiter et Saturne mène aux résultats S–Jupiter = 5,2 ST et S–Saturne = 9,5 ST.



Uranus est à l'extrême limite de visibilité à l'œil nu sous un ciel dénué de pollution lumineuse. Neptune est trop faible pour être visible sans instrument d'optique. Une simple paire de jumelles permet de voir ces deux lointaines cousines sous la forme de petits points peu spectaculaires.

## II.5 Boucles de rétrogradation

Repérons les planètes par rapport aux étoiles lointaines. Dans notre ciel, si l'on met de côté le mouvement diurne, le mouvement général des planètes supérieures (Mars, Jupiter et Saturne) se fait vers l'est, à des vitesses différentes. Toutefois, elles présentent régulièrement un comportement... assez étrange : elles ralentissent, s'arrêtent, partent vers l'ouest puis ralentissent, s'arrêtent à nouveau et reprennent leur course vers l'est. Elles décrivent ainsi des boucles ou des zigzags. Les planètes Mercure et Vénus, elles, exhibent une conduite semblable sauf qu'elles semblent osciller autour de la direction du Soleil. Il est à peine caricatural de dire que le but de l'astronomie dans l'Antiquité et au Moyen Âge a été d'expliquer ces curieux mouvements. Copernic fournit une solution élégante et naturelle en proposant son système héliocentrique.



La boucle ou, comme ici, le zigzag résulte clairement de la composition des mouvements de la Terre et de Mars autour du Soleil. La Terre rattrape Mars et la dépasse. Au cours du dépassement, Mars semble reculer devant l'arrière-plan constitué par les étoiles, de la même façon que sur autoroute, la voiture que vous doublez semble reculer, alors qu'elle et vous allez dans le même sens.

Le mouvement apparent de Mars n'est pas une courbe à une dimension mais une courbe à deux dimensions. En effet, le plan dans lequel Mars circule autour du Soleil n'est pas confondu avec le plan de l'écliptique. L'angle entre ces deux plans est petit, proche de  $1,9^\circ$ .

### III Les lois de Kepler

Les trois lois de Kepler gouvernent le mouvement des planètes autour du Soleil. Les deux premières furent publiées en 1609 dans *Astronomie Nova* et la troisième en 1619 dans *Harmonices Mundi*. Pour les établir, Johannes Kepler (1571 – 1630) exploita la masse considérable d'observations des positions planétaires effectuées par l'astronome danois Tycho Brahé (1546 – 1601) dont il fut l'assistant pendant un an et demi.

#### III.1 Première loi de Kepler

**Les planètes décrivent autour du Soleil des ellipses dont le Soleil occupe l'un des foyers.**

Comment introduire le concept d'ellipse ? C'est la forme que l'on perçoit en regardant un cercle en perspective ou la figure formée par l'ombre qu'un disque projette sur une surface plane.

Vous pouvez facilement construire une ellipse en mettant en pratique une définition mathématique de cet objet. Soit  $F$  et  $F'$  deux points distincts du plan. L'ensemble des points  $M$  qui vérifient  $d(M,F) + d(M,F') = 2a$  définit une ellipse de foyers  $F$  et  $F'$  et de grand axe  $2a$ ,  $d$  étant la distance entre les deux points entre parenthèses. Bref, l'ellipse est le lieu des points dont la somme des distances à deux points fixes est constante. Ainsi, si l'on plante deux piquets dans le sol ou deux punaises sur une plaquette de liège (les deux foyers) et que l'on se munit d'une corde ou d'une ficelle non élastique (la somme constante) que l'on attache aux piquets ou aux deux punaises, le trajet que l'on parcourt ou que la pointe d'un feutre parcourt en maintenant la corde ou la ficelle tendue est une ellipse.

