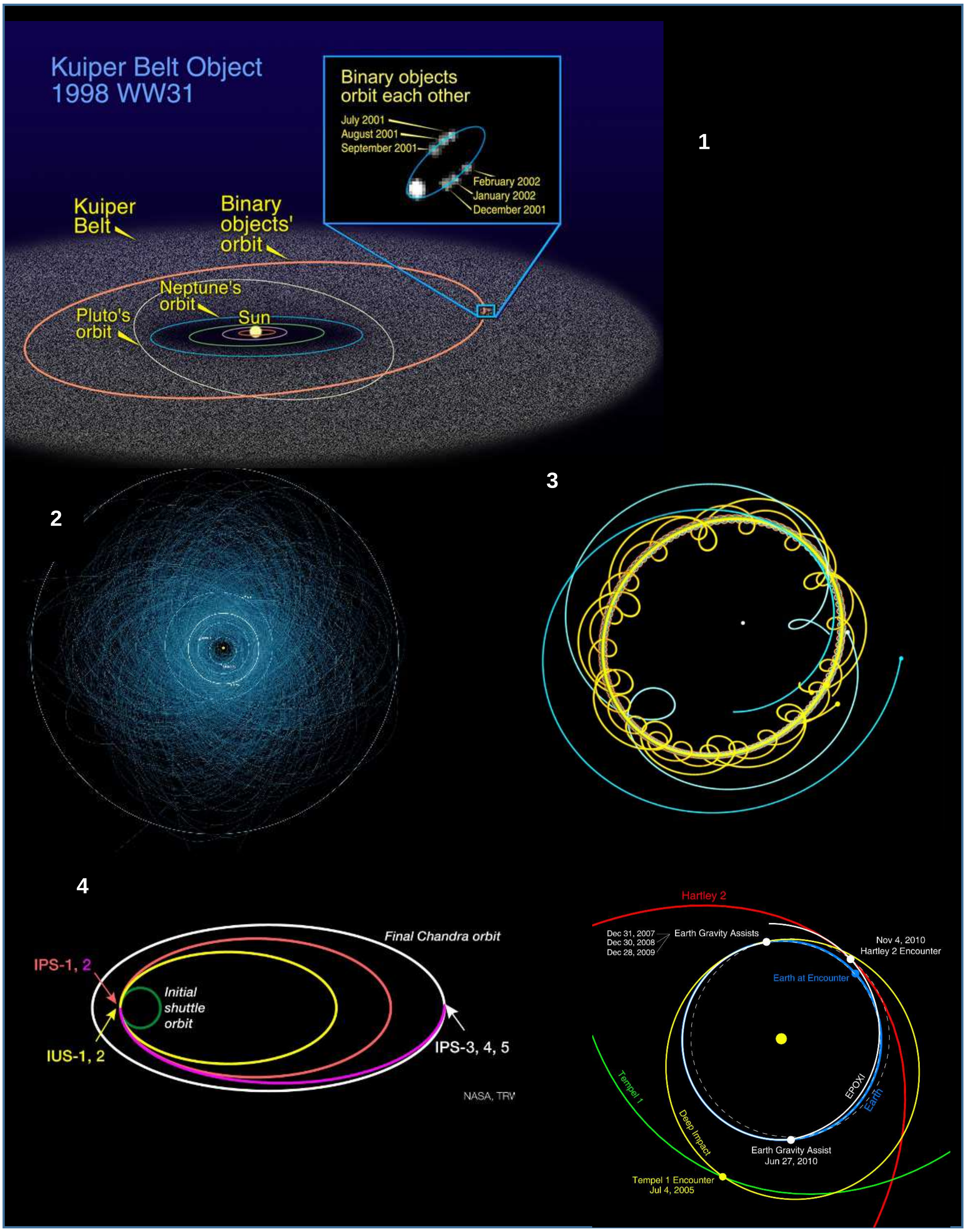
THÈME : les trajectoires des planètes



1. Quelques orbites dans le système solaire avec en particulier 1998WW31, un objet double de la ceinture de Kuiper (crédit NASA and A. Feild Space Telescope Science Institute).
2. Orbites de tous les astéroïdes potentiellement dangereux connus (PHA), au nombre de plus de 1 400 au début de 2013. Crédit image : NASA / JPL-Caltech.
3. Les planètes du système solaire avec Pluton observées depuis Neptune pendant une année plutonienne (image J-F. Colonna http://www.lactamme.polytechnique.fr).
4. Orbites de Chandra (télescope spatial à rayons X) Crédit : NASA et TRW.
5. Orbite de la sonde Deep Impact (en jaune puis en pointillés blancs), rencontre avec Tempel 1 et Hartley 2. Crédit : NASA/JPL-Caltech/UMD/GSFC/Tony Farnham.

NOTIONS DE BASE

Comment représenter les orbites des planètes ?

Pierre Causeret, Esbarres

Dans les représentations du système solaire, les orbites des planètes sont presque toujours tracées. Mais comment les dessiner ? Voici quelques représentations possibles. La position de la planète sur son orbite n'est pas abordée ici, on ne s'intéresse qu'aux seules trajectoires.

Des orbites circulaires centrées sur le Soleil et coplanaires

C'est la représentation la plus simple : des cercles dont le centre est le Soleil et situés dans un même plan. C'est d'ailleurs souvent ainsi que l'on présente le système de Copernic (qui, en réalité, était plus complexe[1]). Cette approximation est suffisante pour avoir une idée du plan du système solaire et une explication qualitative des phénomènes comme la rétrogradation de Mars ou les phases de Vénus. Pour une maquette mécanique du Système solaire avec des planètes qui se déplacent, c'est le type de représentation le plus souvent utilisé.

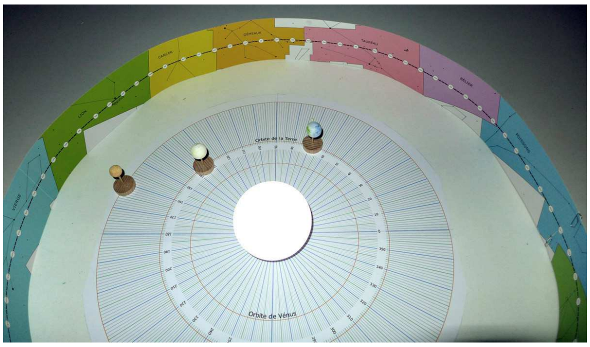


Fig.1. *Dans cette maquette construite à l'école d'été du CLEA, les orbites de Vénus, de la Terre et de Mars sont des cercles coplanaires centrés sur le Soleil. Les planètes sont positionnées ici pour le 1er décembre 2015.*

L'erreur faite sur la distance de la planète au Soleil reste inférieure à 10 % pour toutes les planètes du système solaire sauf Mercure (20 %). On prend ici pour rayon de chacun des cercles, le demi grand axe des orbites elliptiques. Ces rayons varient de 0,39 ua pour Mercure à 30 ua pour Neptune. Si on veut représenter l'ensemble du Système solaire à l'échelle, l'orbite de Neptune doit être 80 fois plus grande que celle de Mercure ! Si on prend par exemple 1 mm comme rayon pour Mercure, on obtient 8 cm pour Neptune ; cela tient sur une feuille A4 mais les premières planètes apparaissent bien proches les unes des autres (figure 2b).

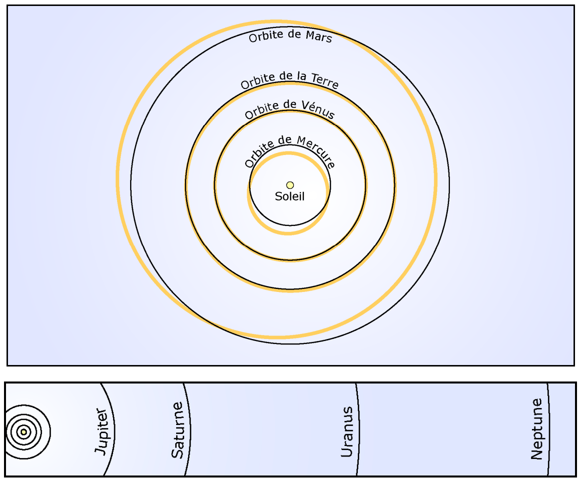


Fig.2. *Orbites circulaires centrées sur le Soleil (en noir).*
a. En haut, les 4 premières planètes à l'échelle 10^{-13}, soit 1,5 cm pour 1 ua. On a mis en fond, de couleur orange, les « vraies » orbites elliptiques.
b. En bas, les 8 planètes avec une échelle 6 fois plus petite (1 ua est représentée par 2,5 mm).

Une autre solution consiste à tracer virtuellement les orbites circulaires et à placer l'observateur à proximité du Soleil. La perspective fait que l'orbite de Mercure, plus proche de l'œil, semblera plus grande et n'apparaîtra pas minuscule à côté de celle de Neptune, plus éloignée. C'est la méthode utilisée par exemple sur la couverture du n° 137 des Cahiers Clairaut (figure 3a).

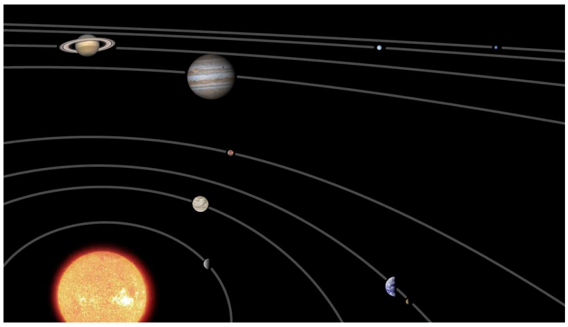


Fig.3a. *Vue en perspective conique des orbites du Système solaire, considérées comme circulaires et centrées sur le Soleil. On a ajouté des photos des planètes sans respecter d'échelle.*

[1] Voir figure 5 page 25.

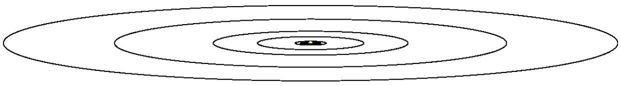


Fig.3b. Orbites circulaires en perspective cavalière.

La perspective cavalière présente peu d'intérêt (figure 3b) d'autant plus que l'on risque de prendre ces orbites, circulaires mais vues de profil, pour des ellipses très aplaties.
On trouve aussi de nombreuses figures où aucune échelle de distance n'est respectée, le schéma ayant pour unique but de montrer que les planètes tournent autour du Soleil.

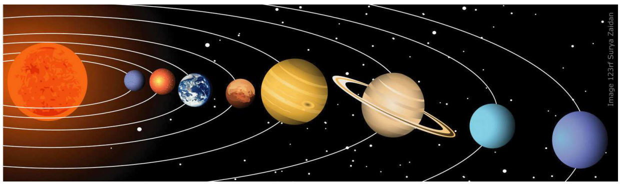


Fig.4. *Schéma classique du Système solaire, sans échelle.*

Des orbites circulaires excentrées

On continue à considérer les orbites circulaires et coplanaires mais on ne place plus le Soleil au centre. Chaque orbite possède ainsi un périhélie (point de l'orbite le plus proche du Soleil), matérialisé par un point rouge sur la figure 5. C'est une représentation peu utilisée et pourtant assez précise. L'erreur sur la distance au Soleil est inférieure à 0,5 % pour toutes les planètes sauf Mercure (2 %). Pour la Terre, elle est inférieure à 0,2 pour 1000, soit moins de 0,2 mm pour une orbite de 1 m de rayon.

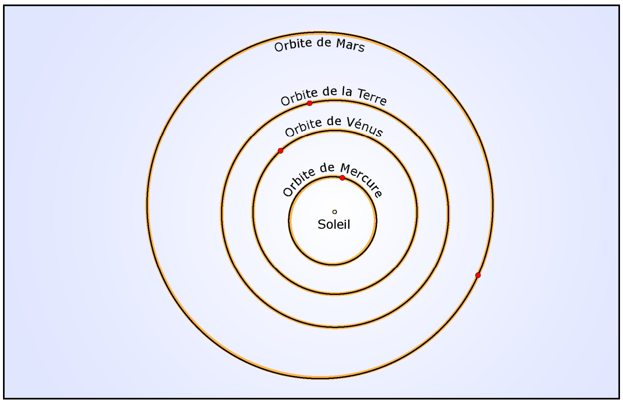


Fig.5. *Orbites de Mercure à Mars, circulaires mais non centrées sur le Soleil, à la même échelle que la figure 2a avec, là aussi, les « vraies » orbites en orange. La différence entre ellipse et cercle excentré est tout juste visible pour Mercure et Mars. On voit tout le mérite de Kepler à distinguer l'ellipse du cercle.*

Des orbites elliptiques coplanaires

La première loi de Kepler nous apprend que les orbites des planètes sont des ellipses et que le Soleil est placé à l'un de ses foyers[2]. De nombreux ouvrages montrent alors des ellipses très aplaties, bien loin des orbites réelles des planètes du Système solaire. Plus gênant, il est courant que le Soleil soit placé au hasard, habituellement entre le foyer de l'ellipse et son centre. Le point de l'orbite le plus proche du Soleil n'est alors plus situé à l'extrémité du grand axe de l'ellipse comme cela devrait être (figure 6).

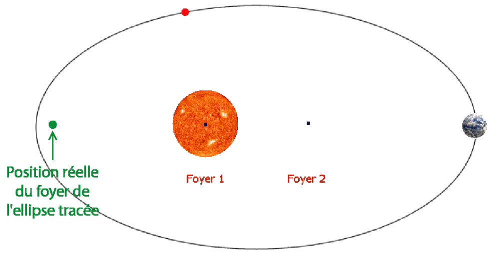


Fig.6. *Mauvaise représentation d'une orbite de planète. Le foyer de l'ellipse tracée est au niveau du point vert : le Soleil devrait s'y trouver. Le point rouge ajouté sur l'orbite est plus proche du Soleil que le périhélie, ce qui est un comble !*

La figure 7 (page suivante) montre les orbites elliptiques des planètes en 2000, toutes représentées dans le plan de l'écliptique, donc sans tenir compte de leur inclinaison. Le point rouge indique le périhélie. Cette figure doit évoluer au cours du temps à cause des variations des paramètres des orbites. Mais celles-ci sont lentes comme on peut le vérifier pour la Terre dans le tableau ci-dessous.

	en 2000	en 2100
Excentricité de l'orbite	0,01671	0,01667
Longitude écliptique du périhélie[3]	102,9	104,6

Paramètres de l'orbite terrestre.

Des orbites elliptiques non coplanaires

La représentation est alors plus délicate : il faut soit réaliser une maquette en 3D, soit utiliser un logiciel de 3D[4].

Conclusion

Il n'existe pas de représentation parfaite des orbites du Système solaire. On peut utiliser des cercles ou des ellipses suivant ce que l'on veut illustrer. Les vues en 3D sont les plus justes mais elles ne sont ni les plus faciles à réaliser ni en général les plus lisibles. Il faut se méfier des représentations trompeuses comme les cercles vus en perspective ou les ellipses trop aplaties.

---

[2] Voir l'encadré en fin d'article pour les rappels sur les ellipses.

[3] La variation est due pour l'essentiel (80 %) au déplacement du point vernal donc à la précession des équinoxes.

[4] Voir article page 20.

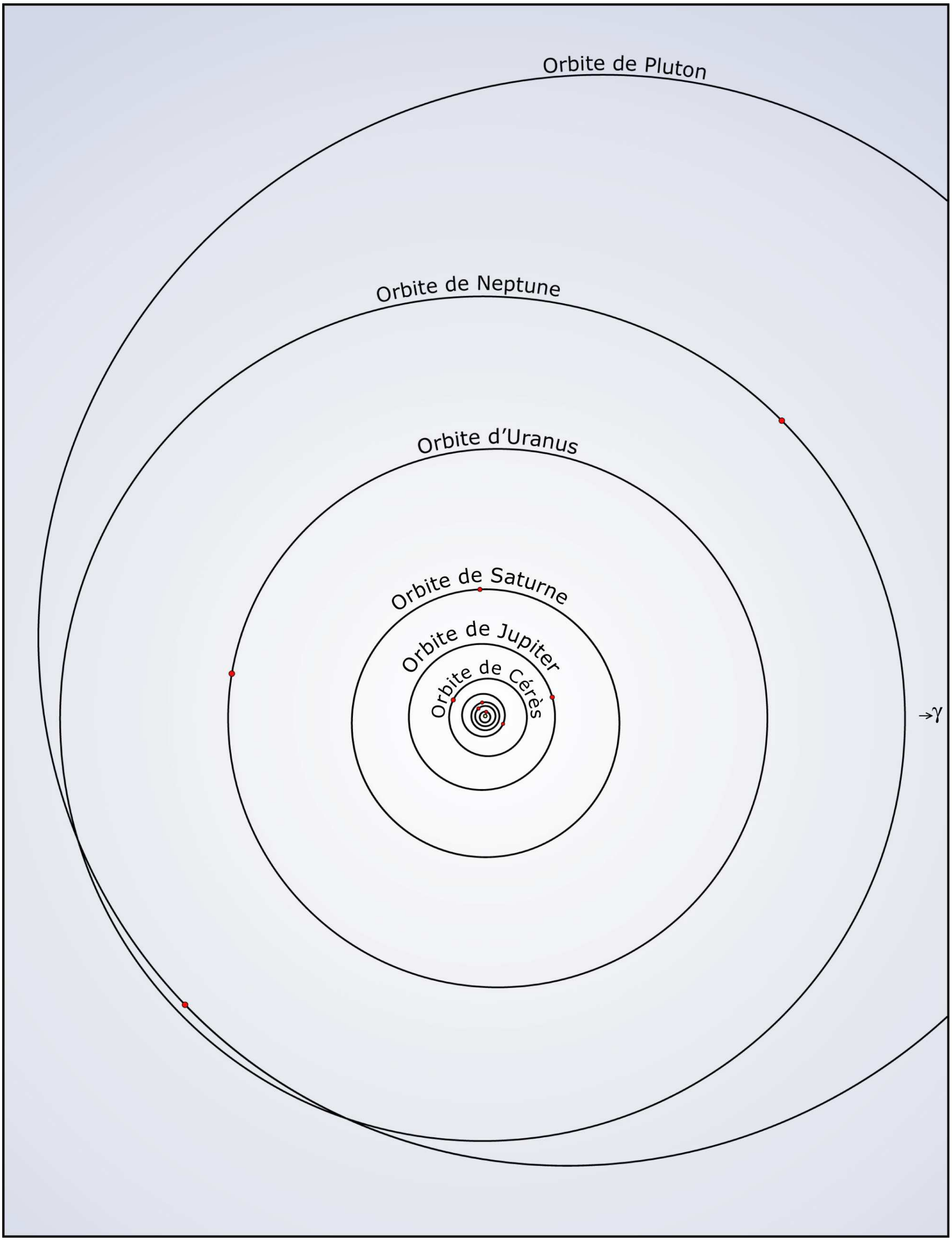


***Fig.7.** Les orbites des 8 planètes du Système solaire ainsi que des deux planètes naines Cérès et Pluton. Le périhélie est indiqué sur chacune des orbites par un disque rouge. L'échelle est ici 1/60 000 000 000 000, comme sur la figure 2b, soit 1 cm pour 4 ua (sauf pour le diamètre du Soleil, dix fois trop gros). Dans cette représentation, il manque l'inclinaison des orbites sur l'écliptique. Le point vernal est situé sur la droite de la figure.*

Quelques rappels sur les ellipses

On peut définir une ellipse de différentes manières.

1. Une ellipse est un cercle aplati.

Toutes les définitions qui suivent sont différentes manières de traduire ce "cercle aplati".

a. On dessine un cercle sur une feuille et on la regarde en biais.

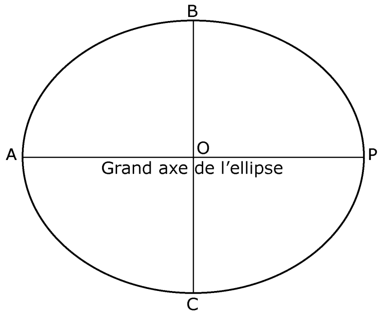
b. On part d'un cercle et on lui applique une affinité orthogonale (le plus simple étant de choisir l'axe passant par le centre du cercle) ; ce qui signifie, dans un repère orthonormé :

$$x \longmapsto x \text{ et } y \longmapsto ky \text{ (avec } k = b/a)$$

c. Une ellipse est une courbe d'équation $x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1$

d. Une ellipse est une courbe d'équation paramétrique :

$$x = a \times \cos t \quad \text{et} \quad y = b \times \sin t \text{ (avec } 0 \leqslant t < 2\pi)$$



OA = OP = a (demi grand axe) ; OB = OC = b (demi petit axe) ;

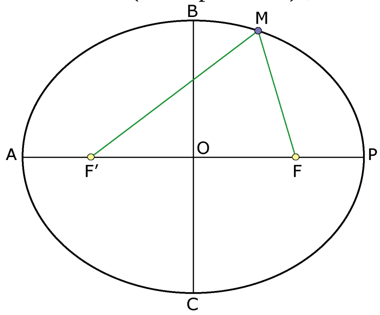
2. Une ellipse est l'ensemble des points du plan dont la somme des distances à deux foyers est constante : MF + MF' = constante.

Comme le point A est un point de l'ellipse, on doit avoir AF + AF' = constante. Or AF + AF' = AO + OF + AO – OF' = 2AO = 2a : la constante est égale à 2a.

Le point B étant un point de l'ellipse, BF + BF' = 2a donc BF = a.

$BF^2 = OB^2 + OF^2$ donc $a^2 = b^2 + c^2$ (on appelle c la longueur OF, c'est la demi distance focale).

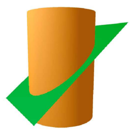
Excentricité e de l'ellipse : e = c/a.

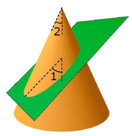


OF = OF' = c.
MF + MF' = 2a.

3. Une ellipse peut aussi se définir comme intersection d'un cylindre et d'un plan non parallèle à l'axe ;

ou encore comme l'intersection d'un plan et d'un cône de révolution à condition que l'angle du plan avec l'axe du cône (angle 1 sur la figure) soit supérieur au demi angle au sommet du cône (angle 2).





■