

# THÈME : Les trajectoires des planètes

## Notions de base

Pierre Causeret, Esbarres

Plusieurs des articles qui suivent font référence aux observations et aux différents modèles planétaires. Vous trouverez ici un résumé des notions à connaître pour mieux les comprendre.

### Les observations

Cinq planètes sont visibles à l'œil nu. Vénus et Mercure brillent le soir ou le matin sans jamais s'écarter du Soleil (figure 1). Mars, Jupiter et Saturne se déplacent au milieu des constellations le plus souvent d'ouest en est, mais en présentant par moment des « rétrogradations » en marche arrière (figure 2). Comment expliquer ces phénomènes ?

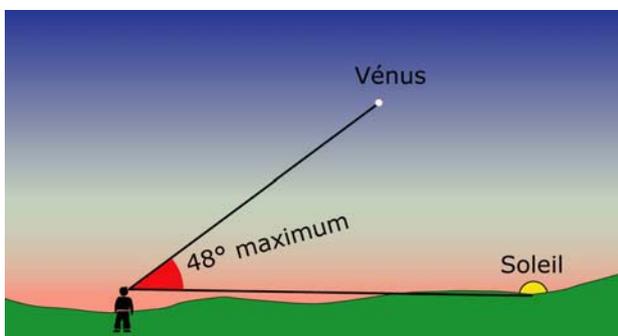


Fig.1. Vénus au coucher du Soleil. Elle est visible soit le soir, soit le matin, toujours à moins de 48° du Soleil.

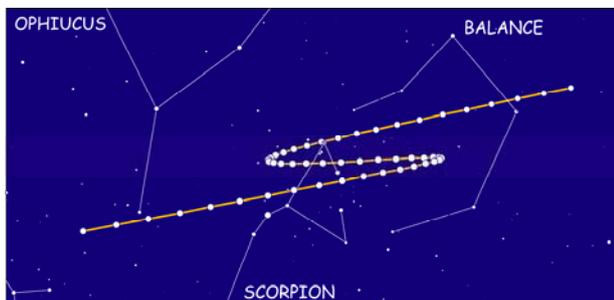


Fig.2. Positions de Mars dans la Balance et le Scorpion notées tous les 5 jours de janvier 2016 (à droite) à septembre 2016 (à gauche). La luminosité de Mars est maximale au milieu de la rétrogradation.

### Les modèles géométriques

Depuis l'époque classique grecque, on a imaginé des modèles pour tenter de comprendre le mouvement des planètes et pour prévoir leurs positions. On en distingue deux sortes, les modèles géocentriques, avec au centre la Terre (Gé), et les modèles héliocentriques avec le Soleil (Hélios) au centre.

Le modèle géocentrique qui s'est perpétué jusqu'à Copernic est celui des épicycles développé par

Apollonius puis Ptolémée<sup>1</sup>. Dans ce système, présenté ici de manière simplifiée, chaque planète tourne sur un cercle, l'épicycle (en vert sur les figures 3 et 4), dont le centre tourne autour de la Terre sur un autre cercle, le déférent (en orange). Ce modèle explique les observations de manière assez correcte.

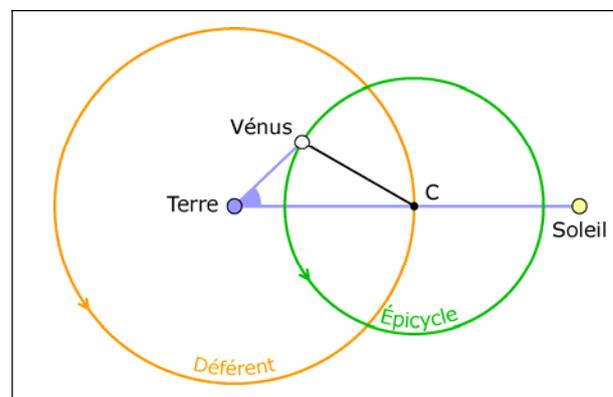


Fig.3. Vénus dans le système des épicycles. L'angle entre la direction du Soleil et celle de Vénus (angle en bleu sur la figure) ne peut pas dépasser une certaine valeur, comme on peut l'observer en réalité (figure 1).

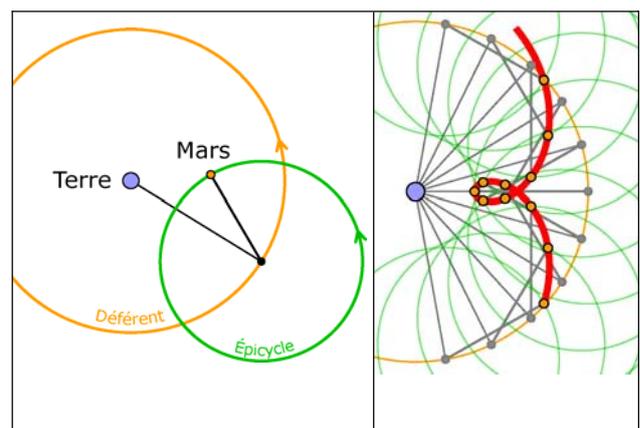
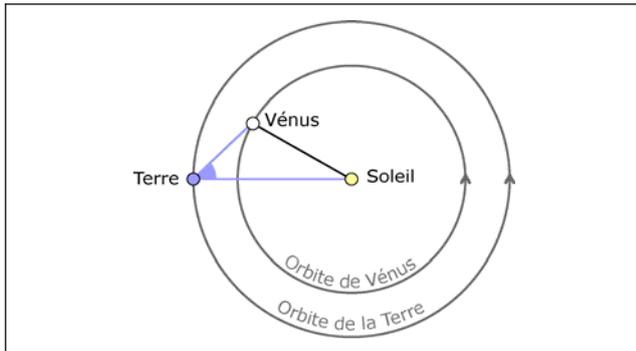


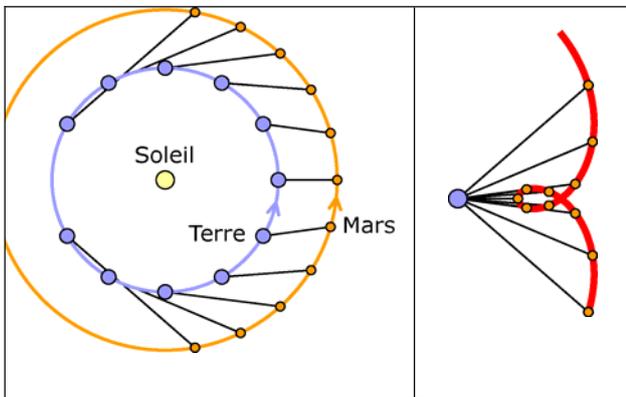
Fig.4. Mars dans le système des épicycles. À gauche, une seule position. À droite, positions de Mars tous les mois pendant 10 mois. On a tracé en rouge la trajectoire de Mars. On retrouve une rétrogradation. De plus, Mars est au plus près de la Terre au milieu de la rétrogradation, il est donc normal qu'elle soit plus brillante.

<sup>1</sup> Vous trouverez beaucoup plus de détails dans l'article sur l'histoire page 15.

Au XVI<sup>e</sup> siècle, Copernic propose de faire tourner les planètes autour du Soleil, éjectant la Terre de sa place centrale. Son modèle explique lui aussi correctement les observations (figures 5 et 6).



**Fig.5.** Vénus dans le système de Copernic. L'angle entre la direction du Soleil et celle de Vénus (angle en bleu sur la figure) ne peut pas dépasser une certaine valeur (voir figure 1), car Vénus est plus proche du Soleil que la Terre.



**Fig.6.** Mars dans le système de Copernic. À gauche, on a représenté les positions de la Terre et de Mars tous les mois pendant 10 mois. Pour savoir ce que l'on observe depuis la Terre, on a reporté à droite le vecteur Terre-Mars à partir d'un point fixe qui représente l'observateur. On obtient une rétrogradation au moment où la Terre double Mars.

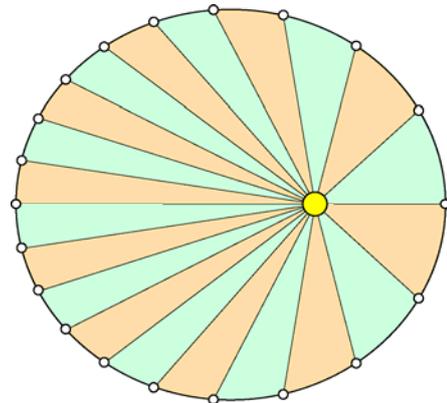
On peut montrer que les modèles simplifiés de Ptolémée et de Copernic tels qu'ils sont présentés ici sont équivalents géométriquement<sup>2</sup>. Copernic n'a pas apporté plus de précision que ses prédécesseurs dans les prévisions de position de planètes, il a surtout modifié la place de la Terre dans l'Univers.

Moins d'un siècle après Copernic, Kepler énonce 3 lois qui régissent les mouvements des planètes :

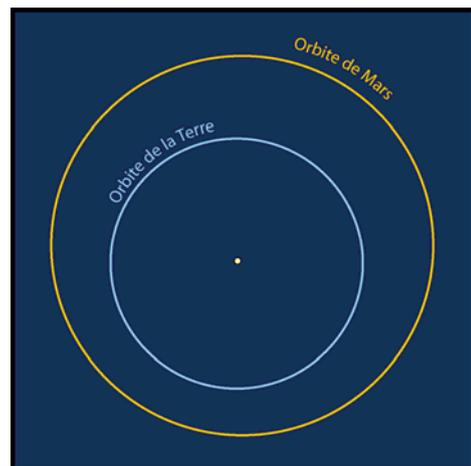
1. Les orbites des planètes sont des ellipses dont le Soleil est un foyer (une ellipse est un cercle aplati ou vu en perspective ; elle possède deux foyers qui sont deux points particuliers associés à la courbe).
2. Les aires balayées par le rayon vecteur (rayon joignant le Soleil à la planète) en des temps égaux sont égales.

<sup>2</sup> Voir page 18.

3. Les carrés des périodes de révolution  $T$  sont proportionnels aux cubes des distances  $a$  au Soleil pour toutes les planètes ( $T^2/a^3 = \text{constante}$ ).



**Fig.7.** Orbite d'une planète pour Kepler. Selon sa première loi, c'est une ellipse et le Soleil est situé à l'un de ses foyers. La planète est placée ici sur son orbite à des intervalles de temps réguliers. La 2<sup>e</sup> loi de Kepler indique que les surfaces coloriées ont toutes la même aire. La planète va donc plus vite quand elle est plus proche du Soleil.



**Fig.8.** Les orbites de la Terre et de Mars à l'échelle. Elles sont peu aplaties et ressemblent à des cercles excentrés.

## La mécanique céleste

Moins d'un siècle après Kepler, Newton énonce la loi de la gravitation universelle. Ainsi, c'est l'attraction du Soleil sur une planète qui la maintient sur son orbite. Elle permet de comprendre aussi que la trajectoire d'une planète est influencée par l'attraction des autres planètes. Ainsi va naître le calcul des perturbations. Neptune sera découverte grâce aux anomalies de la trajectoire d'Uranus, dues à l'attraction de Neptune. La mécanique céleste sera pendant longtemps une grande partie du travail des astronomes.

Enfin, il y a un siècle, Einstein remplace les forces d'attraction par la déformation de l'espace temps par les masses.