

# Chapitre 19

## Rétrogradation de Mars

En observant périodiquement dans le ciel la planète Mars on constate qu'elle se déplace par rapport aux étoiles dans le sens opposé à celui qu'elle a habituellement. Ce phénomène astronomique est nommé rétrogradation.

Le but de ce premier travail est d'interpréter ce mouvement rétrograde de la planète par un changement de repère et d'estimer l'angle et la durée de l'arc de rétrogradation de Mars en utilisant un modèle héliocentrique simplifié : la Terre et Mars tournent autour du Soleil suivant des trajectoires ou orbites circulaires à vitesses angulaires constantes et dans un même plan, le plan de l'écliptique.

En effet comment expliquer qu'une planète qui tourne pratiquement sur un cercle centré sur le Soleil ait une trajectoire aussi surprenante vue depuis la Terre ?

### 19.1 Trajectoires de la Terre et de Mars autour du Soleil

On considère que les centres de la Terre et de Mars ont des mouvements circulaires uniformes concentriques et coplanaires de périodes sidérales respectives  $T = 365,25j$  et  $T' = 686,98j$ .

Le rapport du rayon de l'orbite de Mars sur le rayon de l'orbite terrestre est :  $\frac{a'}{a} \simeq 1,52$

Les deux planètes tournent autour du Soleil dans le sens trigonométrique direct (sens inverse des aiguilles d'une montre si l'on regarde le système solaire en étant placé au dessus du pôle nord du Soleil ou de la Terre), la Terre tournant plus vite que Mars parce qu'elle est plus proche du Soleil.

Le repère héliocentrique choisi a pour origine le centre du Soleil et son

axe des abscisses est donné par la direction d'une opposition (alignement Soleil-Terre-Mars dans cet ordre à un instant donné fixé à  $t = 0$  origine des temps). L'axe des ordonnées est perpendiculaire à l'axe des  $x$  et il est orienté de façon à ce que l'on passe des  $x$  aux  $y$  en tournant dans le sens direct.

1. Représenter à l'échelle les trajectoires des deux planètes ainsi que le repère héliocentrique  $xSy$  sur une feuille de papier millimétré (prendre 5 cm pour représenter la distance de la Terre au Soleil)
2. Déterminer les vitesses angulaires  $n$  et  $n'$  de la Terre et de Mars à 0,0001 près (la vitesse angulaire est dénommée moyen mouvement par les astronomes et elle est exprimée en  $^{\circ}/j$ )
3. Placer sur ces trajectoires les positions successives des planètes à intervalles de 30 jours, avant et après l'opposition. Se limiter à 120 jours avant et 240 jours après l'alignement. Les positions terrestres sont notées de  $T_{-4}$  à  $T_8$  de même pour Mars de  $M_{-4}$  à  $M_8$  où l'indice désigne le nombre d'intervalles de 30 jours.

## 19.2 Trajectoire de Mars dans un repère lié à la Terre

A l'instant  $t$ , on considère le repère géocentrique d'origine le centre de la Terre et dont les deux axes sont respectivement parallèles à ceux du repère héliocentrique. En effet, supposons que les deux axes centrés sur le Soleil  $S$  donnent les directions perpendiculaires de deux étoiles éloignées  $E_1$  et  $E_2$ . Comme la distance Soleil-Terre est négligeable devant les distances du Soleil aux étoiles  $E_1$  et  $E_2$  (les étoiles sont rejetées à l'infini), les directions de  $[SE_1]$  et  $[TE_1]$  sont confondues et les axes  $[Sx]$  et  $[TX]$  sont donc parallèles. On a le même raisonnement pour les deux autres axes  $[Sy]$  et  $[TY]$ .

1. Sur un papier-calque, tracer un repère géocentrique  $XTY$
2. En procédant par translation circulaire du repère géocentrique (papier calque mobile) dans le repère héliocentrique (papier millimétré fixe), relever les positions successives de Mars sur le calque.

Les physiciens parlent de translation circulaire pour qualifier à la fois le passage à chaque instant  $t$  du repère fixe (héliocentrique) au repère mobile (géocentrique) par translation de vecteur  $\overrightarrow{ST}$  et la rotation autour de  $S$  d'un angle dépendant du temps de l'origine  $T$  du repère mobile.

## 19.3 Interprétation de la trajectoire apparente de Mars

1. A l'aide du document obtenu, quelle est la forme de la trajectoire de Mars dans le repère géocentrique  $XTY$  ? Son mouvement est-il uniforme ? La portion de courbe obtenue présente-t-elle une symétrie attendue ?
2. En se servant d'une règle pour relier la Terre aux différentes positions de Mars, montrer qu'elle se déplace pour un observateur terrestre d'abord dans le sens direct, puis dans le sens rétrograde avant de reprendre son mouvement normal !
3. Les étoiles ont-elles ce type de déplacement dans le référentiel géocentrique ? Cela justifie-t-il l'appellation de planète donnée à Mars par les Anciens ?
4. Pour traduire de façon plus quantitative la rétrogradation, dresser un tableau de valeurs déduit de la lecture du graphique

position	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
temps $t$ en j													
$\lambda(t)$ en °													

$\lambda$  désigne la longitude géocentrique de Mars (à définir en cours) puis en tracer la courbe en fonction du temps.

$$\lambda = \text{mes}(\widehat{xTM})$$

5. Mesurer l'angle de rétrogradation. Quelle précision peut-on attendre de cette méthode ?
6. Estimer la durée de rétrogradation

## 19.4 Conclusion

Pour traduire comment la longitude géocentrique  $\lambda$  varie en fonction du temps, on introduit un nouveau tableau qui résume les résultats importants de cette étude.

1. Construire et compléter le tableau de variation de  $\lambda(t)$

$t$	-120	-30	30	240
$\lambda(t)$				
Vocabulaire des Mathématiques				
Vocabulaire de l'Astronomie				

2. Etudier comment varie la distance Terre-Mars en fonction du temps en établissant le tableau de variation d'après le graphique. Que peut-on dire sur le diamètre apparent de Mars lors d'une opposition ? A l'œil nu comment apparaît alors la planète ?

$t$	-120	0	240
$\rho(t)$			

$\rho(t)$  désigne la distance TM à l'instant  $t$

3. Dresser un tableau de valeurs et tracer la courbe en fonction du temps. Exprimer en fonction de  $a$  et de  $a'$   $\rho_{\max}$  et  $\rho_{\min}$  en raisonnant sur le modèle héliocentrique. Lorsque la Terre, le Soleil et Mars sont alignés dans cet ordre, les astronomes parlent de conjonction.
4. Une planète inférieure comme Vénus peut-elle rétrograder ? A titre d'exercice pour les plus courageux, reprendre l'étude graphique avec les données suivantes relatives à Vénus : sa période de révolution sidérale est de 224,70 j et le rapport des rayons des orbites est égal à 0,72. Marquer les positions des planètes, à intervalles de 10 jours, avant et après un alignement Soleil-Vénus-Terre dans cet ordre (alignement appelé conjonction inférieure). Se limiter à 100 jours avant et 100 jours après l'alignement.
5. Enfin, le Soleil rétrograde-t-il ? Quelles sont les trajectoires du Soleil dans les deux repères utilisés ? Sa trajectoire apparente rencontre-t-elle celle de Mars dans le repère géocentrique ? Un Martien voit-il la Terre rétrograder ?

Pour aller plus loin, il faudra introduire deux nouvelles grandeurs (les longitudes héliocentriques de la Terre et de la planète étudiée) et les relier au temps. Surtout, il sera indispensable de généraliser les notions de sinus, cosinus et tangente d'un angle non nécessairement aigu !