



Cours d'astronomie

Le mouvement rétrograde des planètes du système solaire

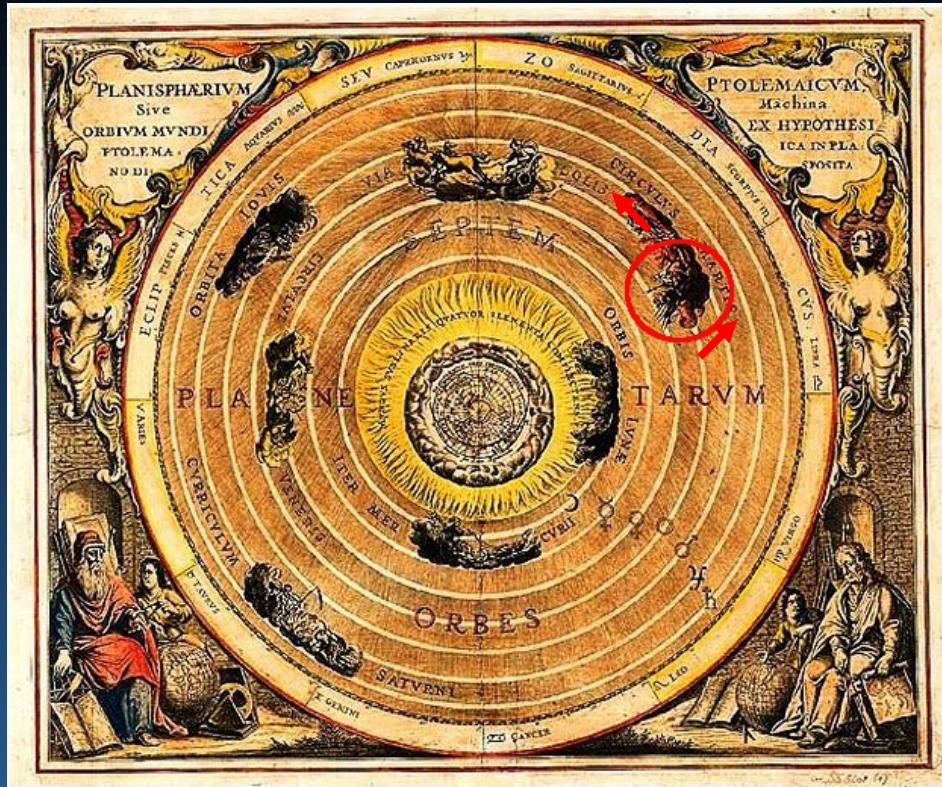
Michel Monesma - 2024
Balcon des Étoiles

Un peu d'histoire

Sans pollution lumineuse, les hommes ont très vite remarqué que les objets du ciel ne s'y déplaçaient pas anarchiquement.

- ★ Les étoiles semblaient liées les unes aux autres et se déplaçaient ensemble sur une sphère d'est en ouest ; c'est la voûte céleste qu'ils ont nommée plus tard orbe des fixes.
- ★ Ne sachant pas qu'en fait la Terre tourne sur elle-même dans le sens direct (inverse des aiguilles d'une montre), ils en ont déduit que la voûte céleste tournait autour d'une Terre statique et que celle-ci était le centre de l'Univers. Le système géocentrique est né de ce constat.
- ★ Par contre, certains objets ne se pliaient pas à la règle commune et se déplaçaient par rapport au référentiel de la voûte céleste. Ils n'étaient pas nombreux (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne, Soleil et Lune) et ont été nommé "planète", de l'ancien grec "planétês" qui signifiait "astre en mouvement" ou "astre errant" par rapport à la voûte céleste qui était considérée comme fixe.

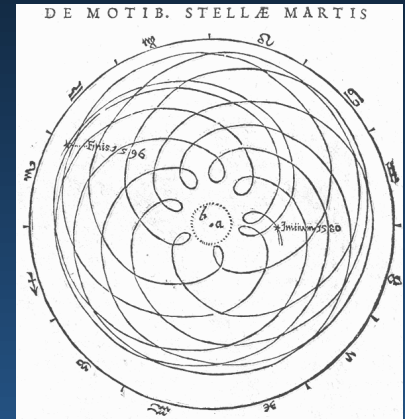
Système géocentrique



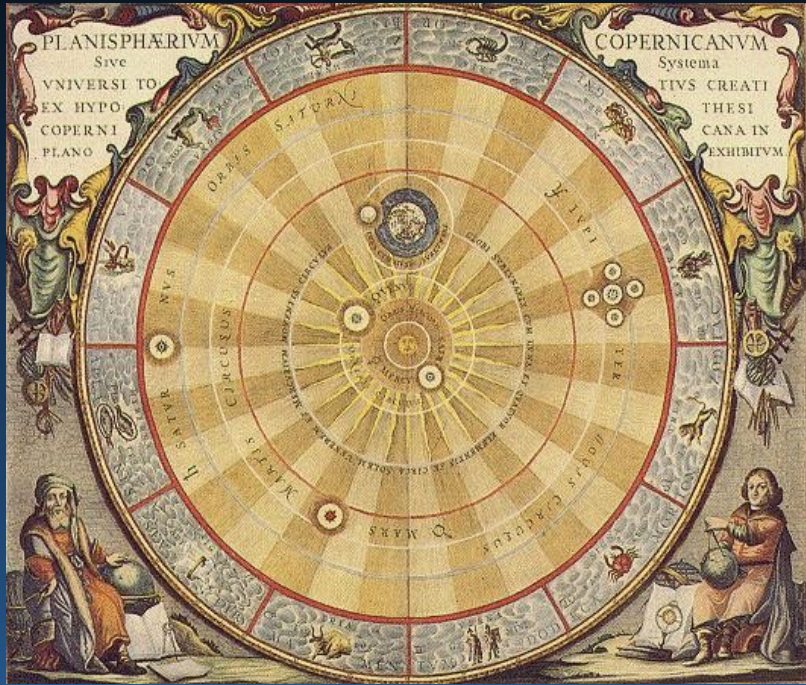
Système géocentrique de Ptolémée

★ Très vite ils ont remarqué que la planète Mars se comportait bizarrement : elle semblait périodiquement revenir en arrière par rapport à son mouvement habituel.

★ Intense réflexion pour aboutir au système des épicycloïdes. Sur son orbe, Mars se déplaçait selon un cercle décrivant ainsi cette figure caractéristique qui collait assez bien à la réalité.



Système héliocentrique



Système héliocentrique de Copernic

- ★ Le système géocentrique prôné par Aristote (384-322 av JC) a dominé la conception du monde jusqu'au XVIe siècle.
- ★ Plusieurs penseurs grecs ont essayé sans succès de remplacer ce système par l'héliocentrisme.
- ★ Vers 1513, Copernic affirme que l'Univers est héliocentrique et que les objets tournent autour du Soleil sur une orbite circulaire.
- ★ Kepler introduira plus tard le fait que les orbites des planètes sont des ellipses.
- ★ Grâce à ce système nous pouvons enfin expliquer le mouvement rétrograde

Vous avez dit rétrograde ?

Le terme rétrograde peut prêter à confusion car il peut avoir plusieurs sens en astronomie. Néanmoins ils ont tous un point commun : ils font allusion à un sens inverse à la normale.

- ★ Le sens de rotation des planètes et du Soleil se fait dans le sens direct par rapport à leur axe, c'est à dire dans le sens antihoraire, à part deux exceptions : Vénus et Uranus. On dit alors qu'elles tournent dans le sens rétrograde. C'est le vrai sens rétrograde.
- ★ Nous faisons souvent référence à Mars pour parler du sens rétrograde sur son orbite vu depuis la Terre car c'est tout simplement le plus visible. Le mouvement rétrograde des planètes externes est bien visible et connu ; quand nous parlons de mouvement rétrograde il est sensé s'appliquer à ces dernières.
- ★ Mais, à la surprise générale, les planètes internes ont aussi un mouvement rétrograde. Celui-ci est moins visible car ces planètes sont souvent dans l'ambiance très lumineuse du Soleil. Les astrologues avaient depuis longtemps remarqué ce phénomène.

Rétrogradation et astrologie

Chaque planète en cours de mouvement rétrograde a une influence sur nous d'après l'astrologie. Uranus et Neptune n'étaient pas connues à l'époque des premières élaborations de ces influences et je ne les citerai donc pas. Il est à noter qu'aujourd'hui ils tiennent compte de Pluton qui reste pour eux une planète.

- ★ Mercure : malentendus, retards et problèmes dans les communications.
- ★ Vénus : relations et sentiments amoureux.
- ★ Mars : perte d'énergie et baisse de dynamisme.
- ★ Jupiter : introspection, opportunités et chance.
- ★ Saturne : revoir les structures, les responsabilités et les limites dans sa vie.

Explication physique du mouvement rétrograde

Vous avez déjà pressenti que ce mouvement rétrograde n'est pas une réalité dans le sens où les planètes enclencheraient la marche arrière pour nous épater.

- ★ Il s'agit d'un mouvement apparent relatif pour un observateur se trouvant sur la Terre.
- ★ Les lois de la mécanique céleste, grâce à Kepler et à Newton, nous enseignent que les orbites des planètes sont des ellipses et que plus l'astre sera éloigné du Soleil, plus sa vitesse sera lente. Leurs vitesses angulaires ainsi que la longueur de leur orbite autour du Soleil seront différentes de celle de la Terre.
- ★ Les planètes externes ont une vitesse angulaire inférieure à celle de la Terre. Lorsque nous les dépassons, elles semblent inverser leur trajectoire vue depuis la Terre. La rétrogradation se produit lors de l'opposition.
- ★ Les planètes internes ont une vitesse angulaire supérieure à celle de la Terre et elles semblent inverser leur direction quand elles nous dépassent. La rétrogradation se produit lorsque les deux planètes sont en conjonction inférieure.

Illustration de la 3^e loi de Kepler

Xavier nous exposera prochainement les lois de Kepler qui sont très importantes en astronomie. Je ferai donc juste une brève illustration pour matérialiser la 3^e loi dans notre système solaire.

$$3^{\text{e}} \text{ loi : } \frac{T^2}{a^3} = \frac{4 \Pi^2}{GM}$$

$$\text{donc : } T = 2 \Pi \sqrt{\frac{a^3}{GM}}$$

Avec

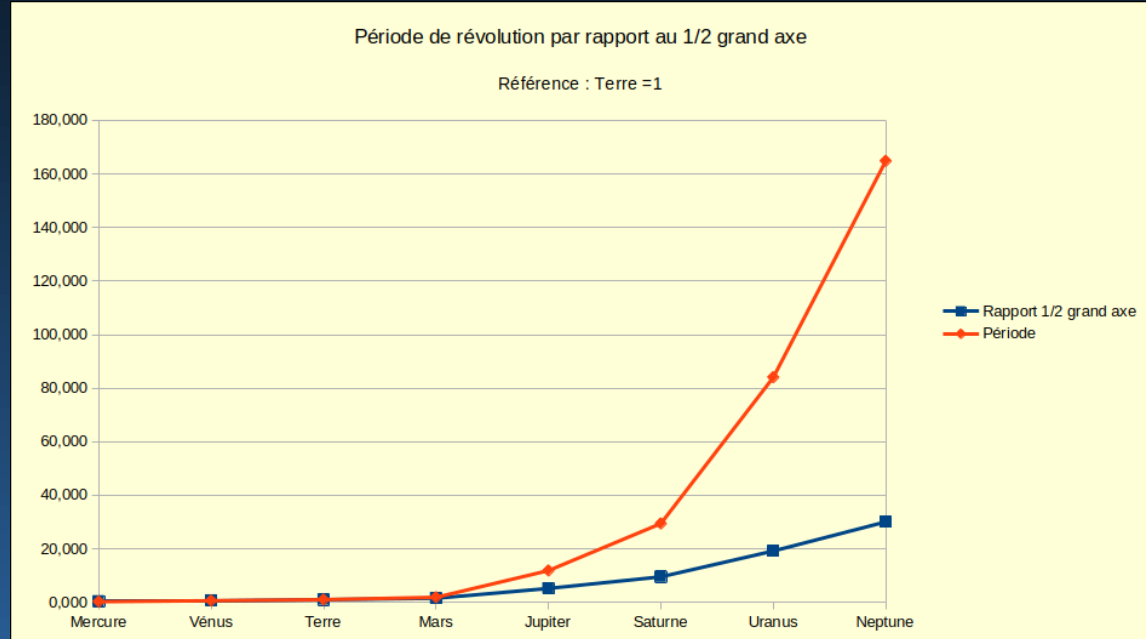
T = période de révolution

a = 1/2 grand axe

G = constante gravitationnelle
= $6,674 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

M = somme des masses des
2 corps, arrondi à la masse
Solaire (1000 fois Jupiter !).

$M_{\odot} = 1,998 \times 10^{30} \text{ kg}$



Animation des mouvements rétrogrades

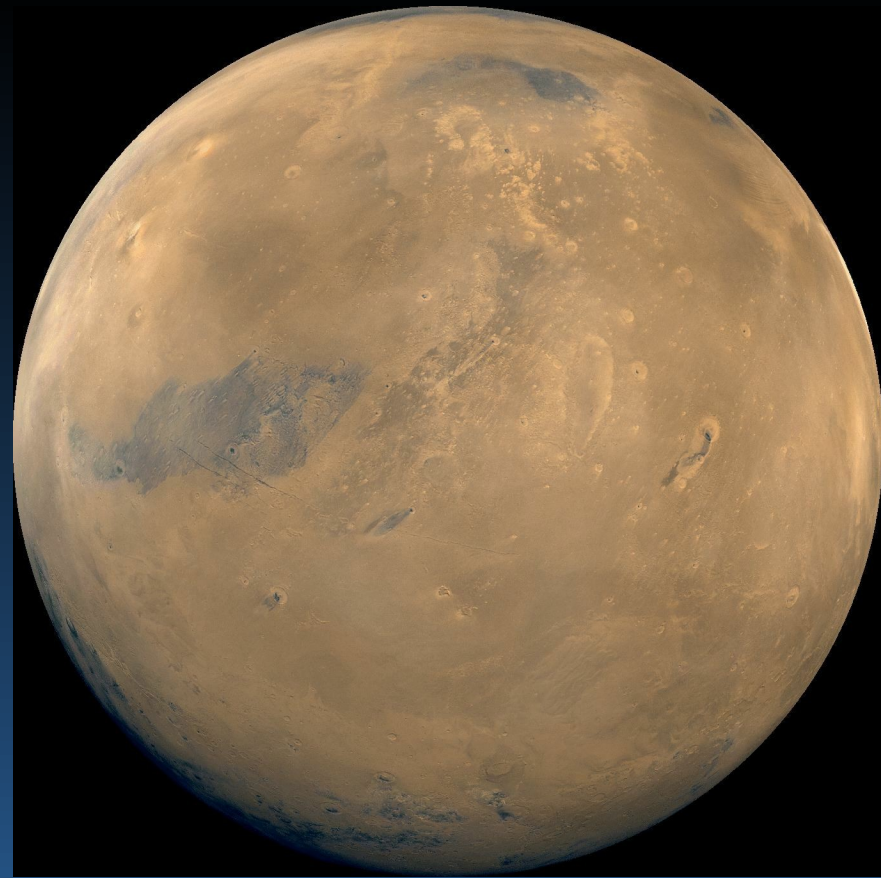
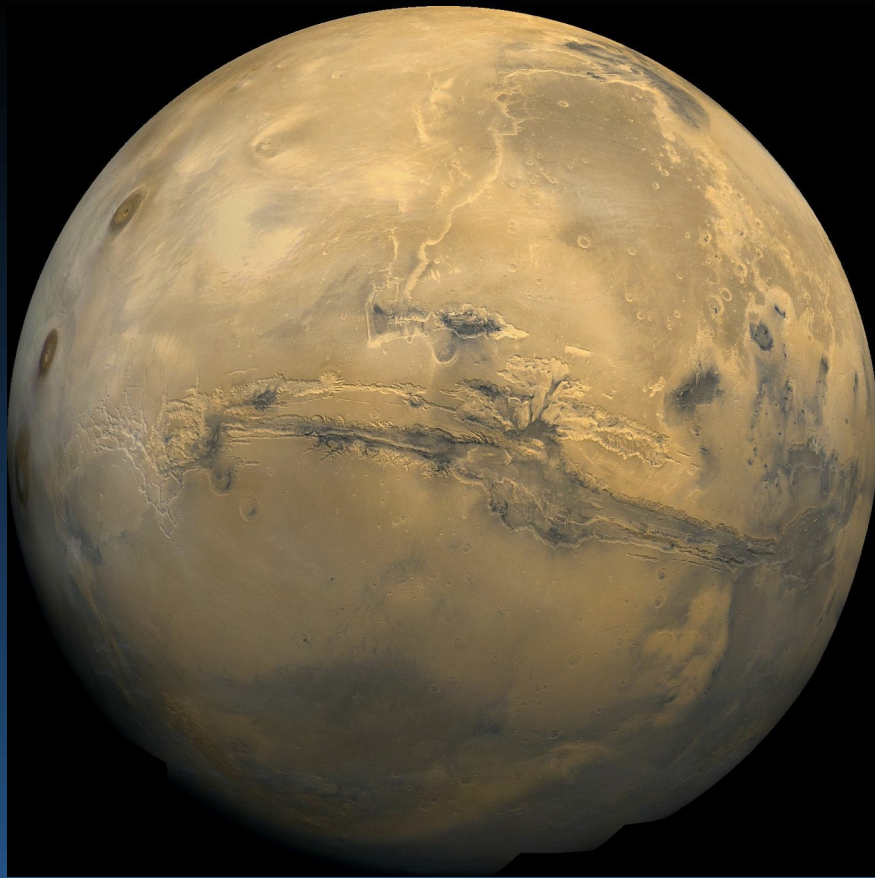
Cliquez les textes sur fond sombre

Planètes externes

Planètes
internes

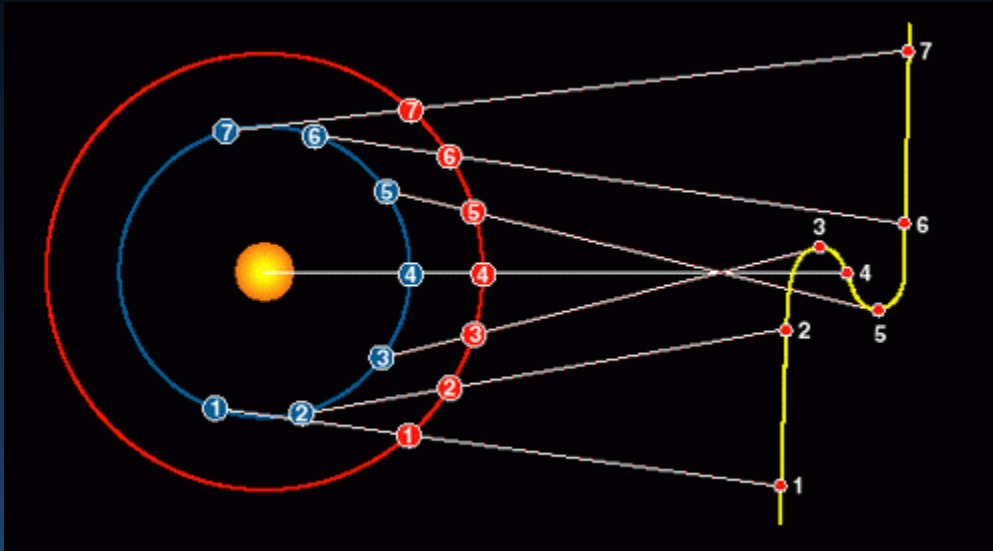


Animations tirées de wikipédia



Je n'ai pas pu résister à la tentation de vous montrer ces belles photos de Mars prises par Hubble que nous n'avons pas la possibilité de prendre depuis la Terre.

Schéma héliocentrique de la rétrogradation de Mars



Pour simplifier les orbites sont représentées circulaires et non elliptiques.

- ★ L'orbite de la Terre est représentée en bleu.
- ★ Celle de Mars est en rouge.
- ★ Conformément à la réalité, la vitesse angulaire de la Terre est plus élevée que celle de Mars.
- ★ La courbe jaune représente le mouvement apparent de Mars vu depuis la Terre.

Rétrogradation Terre-Mars géocentrique

Rétrogradation Mars héliocentrique

Rétrogradation Mars géocentrique

Animations réalisées par Philippe SAADE

Que voit-on depuis la Terre ?



Quelques exemples de ce que l'on peut voir de jour en jour. On peut remarquer que la courbe apparente est différente selon les périodes. La diapo suivante va donner quelques explications.

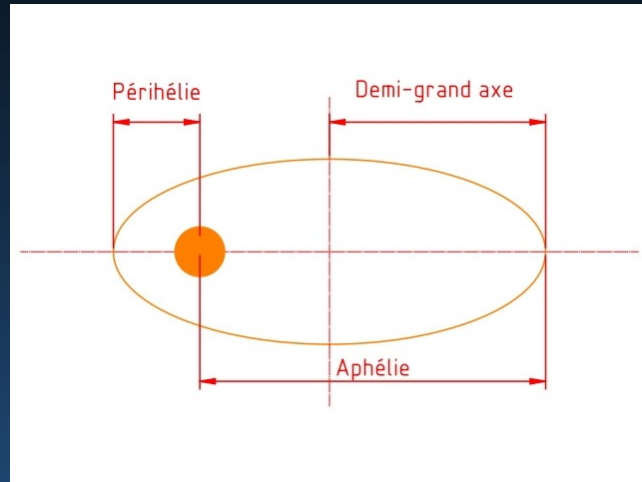
Quelques éléments, non exhaustifs, des paramètres influant la trajectoire apparente de Mars lors d'une rétrogradation vue depuis la Terre.

Sur la diapo précédente de la rétrogradation de Mars en 2014 et 2016 depuis le même site, nous voyons bien la différence de trajectoire apparente vue de la Terre.

- ★ L'excentricité des orbites des deux planètes est très différente
Mars : 0,093 – Terre : 0,016.
- ★ L'orbite de Mars est inclinée de $1,85^\circ$ par rapport à l'écliptique.
- ★ De par l'influence gravitationnelle des planètes géantes et surtout de Jupiter, son orbite n'est pas rigoureusement stable ; pour que depuis la Terre nous puissions voir Mars exactement à la même place par rapport à la voûte céleste à l'instant T, nous devons attendre 79 ans !
- ★ Le mouvement rétrograde de Mars a lieu lors de l'opposition Terre/Mars ; du fait de l'excentricité respective des deux planètes, la distance Terre-Mars n'est pas constante, de même que la différence de leurs vitesses angulaire respectives qui varie selon leur position sur leur orbite (2^e loi de Kepler).

Quelques chiffres Terre/Mars

	Terre	Mars
Demi-grand axe (km)	149 597 888	227 944 000
Aphélie (km)	152 097 701	249 230 000
Périhélie (km)	147 098 074	206 655 000
Excentricité	0,01671022	0,09339000
Période de révolution (jours T)	365,256	686,885
Vitesse orbitale moyenne (km/s)	29,783	24,080
Vitesse orbitale maxi (km/s)	30,287	26,503
Vitesse orbitale mini (km/s)	29,291	21,975
Inclinaison/écliptique (°)	0	1,85



$$Excentricité = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}$$

a = demi - grand axe

b = demi - petit axe

$$vitesse\ angulaire\ moyenne\ de\ Mars = \frac{360}{686,885 \times 24} = 0,022 \text{ } ^\circ/h$$

$$vitesse\ angulaire\ moyenne\ de\ Terre = \frac{360}{365,2565 \times 24} = 0,041 \text{ } ^\circ/h$$

Mouvements relatifs des planètes du système solaire

Les tailles et distances des planètes ne sont pas respectées
Leurs vitesses relatives oui.

Caractéristiques des orbites

	Mercure	Vénus	Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
Demi-grand axe (km)	57 509 050	108 209 500	149 597 888	227 944 000	778 340 000	1 426 700 000	2 870 700 000	4 498 400 000
Aphélie (km)	69 816 900	108 943 000	152 097 701	249 230 000	816 000 000	1 503 500 000	3 006 300 000	4 537 000 000
Périhélie (km)	46 001 200	107 476 000	147 098 074	206 655 000	740 680 000	1 349 800 000	2 735 000 000	4 459 800 000
Excentricité	0,20560	0,00678	0,01671	0,09339	0,48390	0,05390	0,04726	0,00859
Période de révolution (jours T)	87,969	224,667	365,256	686,885	4 332,000	10 754,000	30 698,000	60 216,000
Vitesse orbitale moyenne (km/s)	47,3620	35,0260	29,7830	24,0800	13,0585	9,4607	6,7967	5,4322
Vitesse orbitale maxi (km/s)	58,9800	35,2640	30,2870	26,5030	13,7140	10,1820	7,1299	5,4795
Vitesse orbitale mini (km/s)	38,8600	34,7900	29,2910	21,9750	12,4480	9,1410	6,4864	5,3861
Vitesse angulaire moyenne (°/h)	0,171000	0,067000	0,041000	0,022000	0,003460	0,001395	0,000489	0,000249
Inclinaison/écliptique (°)	7,000	3,390	0,000	1,850	1,304	2,486	0,773	1,770

Nous voyons bien que, vu la disparité des paramètres orbitaux, les caractéristiques des rétrogradations d'une planète à l'autre seront différentes :

- ✧ La géométrie géocentrique des orbites.
- ✧ La fréquence d'apparition.
- ✧ La durée.

Fréquence des rétrogradations

PÉRIODES RÉTROGRADES DES PLANÈTES

Planète	Périodicité	Temps en rétrogradation
 Mercure	Tous les 4 mois	≈ 3 semaines
 Vénus	Tous les 19 mois	≈ 1 mois
 Mars	Tous les 25 mois	≈ 2,5 mois
 Jupiter	Tous les 13 mois	≈ 4 mois
 Saturne	Environ tous les ans	≈ 4,5 mois
 Uranus	Environ tous les ans	≈ 5 mois
 Neptune	Environ tous les ans	≈ 5 mois

Voici la liste des rétrogradations prévues en 2025.

★ Mercure :

- ➔ Du 16/03/2025 en Bélier au 07/04/2025 en Poisson.
- ➔ Du 19/07/2025 au 11/08/2025 en Lion.
- ➔ Du 10/11/2025 en Sagittaire au 29/11/2025 en Scorpion.

★ Vénus :

- ➔ Du 03/03/2025 en Bélier au 13/04/2025 en Poisson.

★ Mars :

- ➔ 07/12/2024 en Lion au 24/02/2025 en Cancer.

★ Jupiter.

- ➔ Du 10/10/2024 au 04/02/2025 en Gémeaux.
- ➔ 12/11/2025 au au 11/03/2026 en Cancer.

★ Saturne

- ➔ Du 14/07/2025 en Bélier au 28/11/2025 en Poisson.

★ Uranus

- ➔ Du 02/09/2024 au 30/01/2025 en Taureau.
- ➔ Du 07/09/2025 en Gémeaux au 04/02/2026 en Taureau.

★ Neptune

- ➔ Du 05/07/2025 en Bélier au 10/12/2025 en Poisson.

Un peu de mathématiques

- ★ Les excentricités des planètes étant faibles on peut assimiler leur trajectoire à des cercles.
- ★ L'inclinaison de Mars étant faible on peut estimer leur trajectoire coplanaire.
- ★ Autre simplification

	Rayon du cercle	Période de révolution
Terre	2 demi UA	1 an
Mars	3 demi UA	2 ans

- ★ Avec ce modèle simplifié le Soleil, la Terre et Mars sont alignés 1 fois par an.
Fonction du temps (t) des positions respectives de la Terre et de Mars (en demi UA).

$$Z_{\frac{T}{S}}(t) = 2e^{+2\pi i t}$$

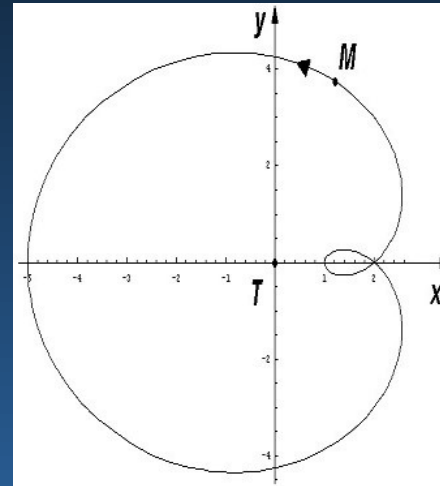
$$Z_{\frac{M}{S}}(t) = 3e^{+\pi i t}$$

$$\frac{\ln(e) = 1 \text{ donc } e = 2,71828}{i \text{ tel que } i^2 = -1}$$

- ★ Donc position relative de Mars par rapport à la Terre

$$Z_{\frac{M}{T}}(t) = Z_{\frac{M}{S}}(t) - Z_{\frac{T}{S}}(t) = 3e^{+\pi i t} - 2e^{+2\pi i t}$$

- ★ Ce qui donne cette trajectoire de la position relative dans le plan.



Conclusion

- ★ Les mouvements de rétrogradation sont universels, dans n'importe quel système stellaire, à partir du moment où les planètes de ce système ont des vitesses angulaires différentes les unes par rapport aux autres.
- ★ Ce phénomène peut être observé sur une planète depuis n'importe quelle autre planète d'un système stellaire.
- ★ Grâce aux lois de la mécanique céleste et de la géométrie, nous pouvons parfaitement décrire ce mouvement de rétrogradation.
- ★ Nous pouvons aussi prédire précisément la date et la durée de ces mouvements rétrogrades.
- ★ Nous pouvons aussi les immortaliser en prenant une photo grand angle à intervalle régulier, en visant toujours le même point, avec une monture équatoriale et en les empilant.

Alors pour 2025, nous appliquons sur Mars ?