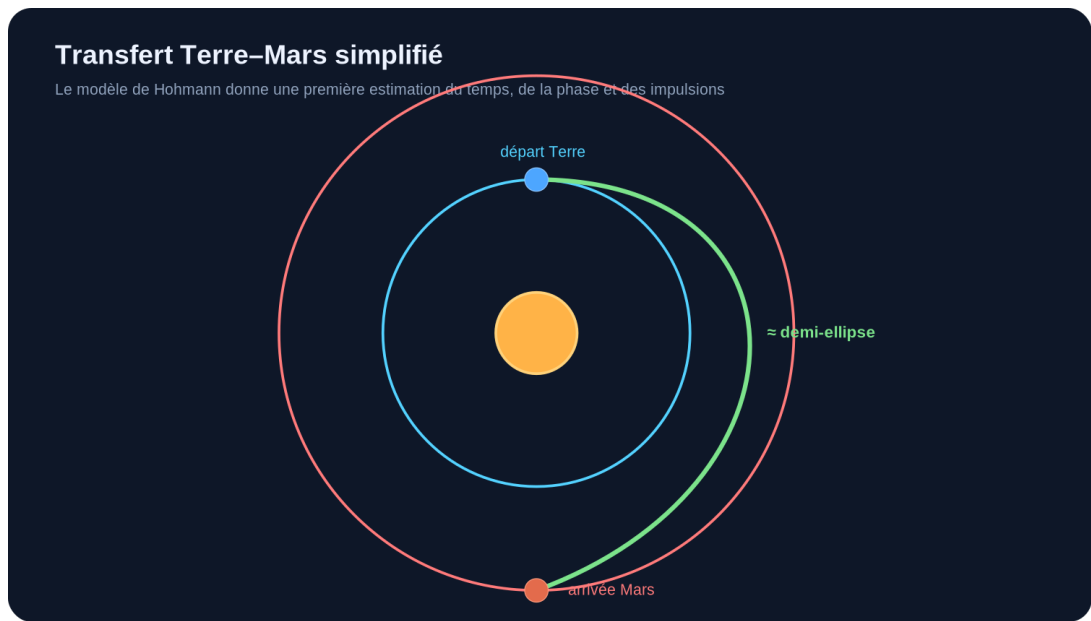


AM-07.02 — Calculer un transfert Terre-Mars simplifié : environ 259 jours et 44° d'avance

Réponse essentielle

Calculer un transfert Terre-Mars simplifié : environ 259 jours et 44° d'avance. Le célèbre ordre de grandeur d'environ huit à neuf mois pour un transfert Terre-Mars économe n'est pas un nombre magique. On peut le retrouver avec un modèle de Hohmann simplifié autour du Soleil. Le calcul est suffisamment accessible pour être fait pas à pas, à condition d'expliquer chaque grandeur. La suite du cours montre comment passer de cette idée à un raisonnement contrôlable : unités explicites, hypothèses annoncées, calculs reproductibles, ordre de grandeur et limites d'interprétation. Le résultat n'est utile que si l'on peut expliquer ce qu'il mesure, d'où viennent les nombres et quelle décision d'ingénierie il éclaire.



Le célèbre ordre de grandeur d'environ huit à neuf mois pour un transfert Terre-Mars économe n'est pas un nombre magique. On peut le retrouver avec un modèle de Hohmann simplifié autour du Soleil. Le calcul est suffisamment accessible pour être fait pas à pas, à condition d'expliquer chaque grandeur.

UA — unité astronomique ; distance moyenne Terre-Soleil, utilisée ici comme unité de longueur.

Avant de calculer

Grandeur:	AM-07.02 — Calculer un transfert Terre-Mars simplifié : environ 259 jours et 44° d'avance
Contrôle:	unités + ordre de grandeur + hypothèses
Décision:	expliquer ce que le résultat autorise réellement à conclure

AM-07.02 — Calculer un transfert Terre-Mars simplifié : environ 259 jours et 44° d’avance

2 — Vocabulaire indispensable avant de continuer

UA — unité astronomique ; distance moyenne Terre-Soleil, utilisée ici comme unité de longueur.
demi-grand axe du transfert — moyenne des rayons orbitaux de départ et d’arrivée dans le modèle de Hohmann.
année — unité pratique pour la relation de Kepler normalisée autour du Soleil.
angle de phase — avance angulaire de Mars par rapport à la Terre au départ.
modèle simplifié — représentation utile qui néglige certaines perturbations et contraintes réelles.

3 — Comprendre le mécanisme, étape par étape

On prend l'orbite terrestre ≈ 1 UA et l'orbite martienne $\approx 1,524$ UA. L'ellipse de transfert touche l'orbite terrestre d'un côté et l'orbite martienne de l'autre.

$a = (1 + 1,524) \div 2 = 1,262$ UA. Ce nombre décrit la taille de l'ellipse de transfert.

Autour du Soleil, avec a en UA et T en années, la troisième loi de Kepler s'écrit dans ce cadre $T^2 = a^3$. Donc $T = \sqrt{(1,262^3)} \approx 1,418$ an pour faire l'ellipse complète. Le trajet Terre-Mars correspond à une demi-ellipse : environ 0,709 an, soit 259 jours.

Pendant ces 259 jours, Mars avance sur sa propre orbite. Elle parcourt environ $259/686,98 \times 360^\circ \approx 135,7^\circ$. Le vaisseau parcourt géométriquement 180° autour du Soleil sur la demi-ellipse. Mars doit donc avoir environ $180^\circ - 135,7^\circ = 44,3^\circ$ d'avance au départ dans ce modèle.

4 — La formule, seulement maintenant

Comment cela se lit : a_t se lit 'a indice t' et est le demi-grand axe du transfert. r_T est le rayon orbital terrestre normalisé à 1 UA ; r_M celui de Mars. T_t est la période complète de l'ellipse en années dans la forme normalisée de Kepler.

Lecture active

Sections:	2 — Vocabulaire indispensable avant de continuer ; 3 — Comprendre le mécanisme, étape par étape
Vérification:	Une valeur n’est exploitable qu’avec son unité et sa frontière de calcul.
Exercice:	modifiez une hypothèse puis prédissez le sens de variation avant de recalculer

AM-07.02 — Calculer un transfert Terre-Mars simplifié : environ 259 jours et 44° d'avance

$a_t = (1 + 1,524) \div 2 = 1,262$ UA. Puis $a_t^3 \approx 2,010$. $\sqrt{2,010} \approx 1,418$ an. Demi-transfert = $1,418 \div 2 = 0,709$ an. $0,709 \times 365,25 \approx 259$ jours. Angle parcouru par Mars $\approx 259 \div 686,98 \times 360 \approx 135,7^\circ$. Avance initiale $\approx 180 - 135,7 = 44,3^\circ$.

5 — Ce que les unités racontent

6 — Trois démonstrations concrètes

$1,262^3 \approx 2,010$; $\sqrt{2,010} \approx 1,418$ an pour le tour complet de l'ellipse ; moitié $\approx 0,709$ an ; $0,709 \times 365,25 \approx 259$ jours.

$259 \div 686,98 \approx 0,377$. Mars parcourt donc environ $0,377 \times 360^\circ \approx 135,7^\circ$ pendant le transfert.

Le point d'arrivée est à 180° du point de départ sur l'ellipse idéale. Si Mars parcourt $135,7^\circ$, elle doit être environ $44,3^\circ$ en avance au départ pour se trouver au rendez-vous.

7 — Pourquoi cette notion compte pour une mission vers Mars

Le JPL utilise ce type de raisonnement simplifié pour enseigner les fenêtres Terre-Mars. Les missions réelles utilisent des éphémérides et optimisations numériques beaucoup plus précises ; le modèle reste précieux pour comprendre d'où viennent les ordres de grandeur.

8 — Pièges fréquents et mauvaises intuitions

présenter 259 jours comme durée obligatoire de toute mission.

confondre angle de phase et angle de lancement du lanceur.

oublier que les orbites sont elliptiques et inclinées dans la réalité.

penser que le calcul donne directement les delta-v de départ et d'arrivée.

9 — Ce que je dois savoir expliquer à la fin

Lecture active

Sections: 5 — Ce que les unités racontent ; 6 — Trois démonstrations concrètes

Vérification: Une valeur n'est exploitable qu'avec son unité et sa frontière de calcul.

Exercice: modifiez une hypothèse puis prédissez le sens de variation avant de recalculer

AM-07.02 — Calculer un transfert Terre-Mars simplifié : environ 259 jours et 44° d’avance

expliquer la notion avec des mots ordinaires

lire et prononcer les symboles importants

refaire au moins un calcul sans saut implicite

Le transfert simplifié Terre-Mars : ce que signifient 259 jours et 44°

Le calcul de Hohmann Terre-Mars prend les rayons orbitaux moyens comme si les deux planètes suivaient des cercles coplanaires. L’ellipse de transfert a pour demi-grand axe la moyenne des rayons terrestre et martien. Sa demi-période donne un temps proche de 259 jours dans ce modèle. Ce nombre est un repère pédagogique, pas la durée obligatoire d’un voyage réel.

Pendant ces 259 jours, Mars continue de tourner autour du Soleil. L’angle d’avance au départ se déduit de sa vitesse angulaire et du temps de transfert : la planète doit être placée de sorte qu’elle arrive au rendez-vous en même temps que le vaisseau. L’ordre de grandeur autour de 44° dépend du modèle choisi et n’est pas une consigne opérationnelle universelle.

Une trajectoire réelle part d’un état héliocentrique fourni par les éphémérides et doit aussi être réalisable depuis l’orbite terrestre. On convertit donc le besoin héliocentrique en excès de vitesse, puis en énergie de départ compatible avec le lanceur, avant d’étudier l’arrivée sur Mars.

10 — Exercices guidés et réponses

11 — Sources NASA / JPL pour aller plus loin

JPL Education — Let’s Go to Mars! Calculating Launch Windows

NASA Science — Basics of Space Flight, Trajectories

Lecture active

Sections:	Le transfert simplifié Terre-Mars : ce que signifient 259 jours et 44° ; 10 — Exercices guidés et réponses
Vérification:	JPL Education — Let’s Go to Mars! Calculating Launch Windows NASA Science — Basics of Space Flight, Trajectories
Exercice:	modifiez une hypothèse puis prédissez le sens de variation avant de recalculer