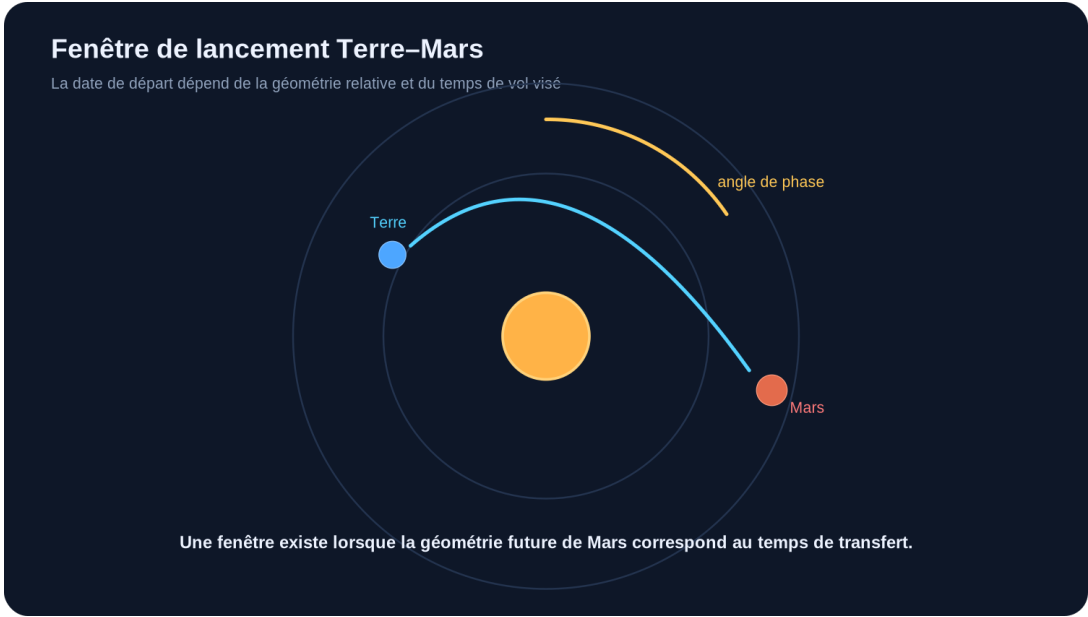


# AM-07.01 — Fenêtre de lancement Terre-Mars : pourquoi on ne part pas n'importe quel jour

## Réponse essentielle

Fenêtre de lancement Terre-Mars : pourquoi on ne part pas n'importe quel jour. La Terre et Mars avancent continuellement autour du Soleil. Pour rejoindre Mars avec une trajectoire économe, il faut partir lorsque la géométrie permet à la planète d'arriver au point de rencontre au bon moment. Une fenêtre de lancement est donc d'abord un rendez-vous entre deux planètes en mouvement. 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.



La Terre et Mars avancent continuellement autour du Soleil. Pour rejoindre Mars avec une trajectoire économe, il faut partir lorsque la géométrie permet à la planète d'arriver au point de rencontre au bon moment. Une fenêtre de lancement est donc d'abord un rendez-vous entre deux planètes en mouvement.

fenêtre de lancement — intervalle de dates où une mission peut partir en respectant ses contraintes.

## Avant de calculer

|                  |                                                                                          |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Grandeur:</b> | AM-07.01 — Fenêtre de lancement Terre-Mars : pourquoi on ne part pas n'importe quel jour |
| <b>Contrôle:</b> | unités + ordre de grandeur + hypothèses                                                  |
| <b>Décision:</b> | expliquer ce que le résultat autorise réellement à conclure                              |

AM-07.01 — Fenêtre de lancement Terre-Mars : pourquoi on ne part pas n'importe quel jour

2 — Vocabulaire indispensable avant de continuer

- fenêtre de lancement — intervalle de dates où une mission peut partir en respectant ses contraintes.
- configuration planétaire — position relative des planètes.
- période synodique — temps nécessaire pour retrouver approximativement la même géométrie relative.
- conjonction — alignement apparent ; terme à ne pas confondre avec fenêtre de lancement.
- phase — angle relatif utilisé pour décrire la géométrie de départ.

3 — Comprendre le mécanisme, étape par étape

- La fusée ne vise pas l'endroit où Mars est au départ. Elle injecte le vaisseau sur une trajectoire autour du Soleil qui doit croiser l'orbite de Mars au moment où Mars s'y trouve.
- Les opportunités énergétiquement favorables Terre-Mars reviennent à un rythme voisin de 26 mois, conséquence des périodes orbitales différentes de la Terre et de Mars.
- Une mission dispose généralement d'une période de lancement de plusieurs jours ou semaines, avec des paramètres d'injection ajustés chaque jour. Les contraintes du lanceur, du site, de l'arrivée et de l'éclairage resserrent ou déplacent la fenêtre réelle.

4 — La formule, seulement maintenant

- Comment cela se lit :  $S$  est la période synodique.  $T_e$  est la période orbitale de la Terre ;  $T_m$  celle de Mars. Les barres verticales signifient qu'on prend la valeur positive de la différence des fréquences orbitales.
- $1/365,25 \approx 0,002738 \text{ jour}^{-1}$  ;  $1/686,98 \approx 0,001456 \text{ jour}^{-1}$  ; différence  $\approx 0,001282 \text{ jour}^{-1}$ . Donc  $S \approx 1 \div 0,001282 \approx 780$  jours.  $780 \div 30,44 \approx 25,6$  mois moyens.

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-07.01 — Fenêtre de lancement Terre-Mars : pourquoi on ne part pas n'importe quel jour

5 — Ce que les unités racontent

6 — Trois démonstrations concrètes

La Terre fait un tour en environ 365,25 jours, Mars en environ 686,98 jours. La Terre tourne plus vite autour du Soleil et finit donc par retrouver la même géométrie relative.

$1/S = |1/365,25 - 1/686,98|$ . On obtient  $S \approx 780$  jours, soit environ 25,6 mois.

La mission Perseverance a utilisé une période de lancement en 2020 puis un voyage interplanétaire de plusieurs mois. Ce cas concret montre qu'une fenêtre de départ et une trajectoire de croisière sont deux notions liées mais distinctes.

7 — Pourquoi cette notion compte pour une mission vers Mars

La cadence des fenêtres structure toute une civilisation martienne : calendrier des équipages, fret, secours, stocks et capacité à tenir lorsqu'un départ est manqué.

8 — Pièges fréquents et mauvaises intuitions

viser Mars là où elle se trouve au décollage.

confondre période synodique et durée de voyage.

croire qu'une fenêtre favorable dure un seul instant.

supposer que 26 mois signifie que toutes les trajectoires sont identiques.

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-07.01 — Fenêtre de lancement Terre-Mars : pourquoi on ne part pas n'importe quel jour

expliquer la notion avec des mots ordinaires  
lire et prononcer les symboles importants  
refaire au moins un calcul sans saut implicite

Une fenêtre de lancement est une géométrie, pas une date magique

Une mission Terre-Mars doit partir lorsque la position relative des deux planètes permet à la trajectoire choisie de rencontrer Mars au moment où la planète atteint le point d'arrivée. La fenêtre n'est donc pas « tous les deux ans » par convention : elle découle de la période synodique Terre-Mars et de la famille de trajectoires que l'on accepte en énergie et en durée.

L'angle de phase utile dépend du temps de transfert. Si Mars est trop en avance ou trop en retard au départ, une trajectoire de même énergie manquera la planète. Les ingénieurs évaluent alors plusieurs jours ou semaines autour d'une opportunité, car la masse injectée, la durée et les conditions d'arrivée varient à l'intérieur même de la fenêtre.

Une fenêtre concerne aussi la chaîne complète : disponibilité du lanceur, heure quotidienne, azimut, stations de poursuite, éclairage, arrivée martienne et possibilité de retour. Dire qu'une fenêtre « s'ouvre » ne signifie donc pas qu'un seul instant convient ; c'est un domaine de compromis avec des limites de performance.

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, Encounter / Mars mission timing

Lecture active

|               |                                                                                                                                       |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sections:     | Une fenêtre de lancement est une géométrie, pas une date magique ; 10 — Exercices guidés et réponses                                  |
| Vérification: | JPL Education — Let's Go to Mars! Calculating Launch Windows   NASA Science — Basics of Space Flight, Encounter / Mars mission timing |
| Exercice:     | modifiez une hypothèse puis prédissez le sens de variation avant de recalculer                                                        |