

> (à 300 km d'altitude) vers une orbite géostationnaire (à 35800 km).

Suivre cette trajectoire «optimale» a cependant deux conséquences. Sa durée est parfaitement connue en vertu des lois de Kepler régissant le mouvement d'un corps en orbite autour du Soleil: 258 jours. Cela fixe la fenêtre de lancement, car il faut que, 258 jours après le départ de la mission depuis la Terre, Mars soit sur son orbite dans la position diamétralement opposée par rapport au Soleil. Ce n'est possible que si Mars est dans une certaine position par rapport à la Terre au moment du départ, ce qui n'arrive que tous les 26 mois.

Seconde conséquence: à l'arrivée sur l'orbite martienne, la vitesse de la sonde est seulement de 21,5 km/s, insuffisante pour suivre Mars qui se déplace à 24,1 km/s. Un nouvel incrément de 2,6 km/s est donc nécessaire, pour un total à l'aller de 5,5 km/s. Notons qu'il reste tout à fait possible de faire le voyage plus vite et de partir à une autre période, mais cela nécessite alors bien plus de carburant pour une même masse utile.

PROFITER DE LA GRAVITÉ DES PLANÈTES?

On peut établir de la même façon les paramètres du voyage retour: la durée totale atteint 974 jours, très longue pour des cosmonautes! De plus, ce scénario est très idéalisé du point de vue énergétique, car il oublie qu'avant d'être soumis à la seule force gravitationnelle du Soleil, il faut pouvoir quitter le puits de gravité de la Terre et, pour le retour, celui de Mars. Cela nécessite d'atteindre des vitesses considérables, appelées vitesse de libération, respectivement de 11,2 km/s et 5,1 km/s, qui viennent s'ajouter aux incréments précédents.

Cela explique pourquoi il peut être avantageux de choisir un lancement depuis une orbite basse: il faut toujours payer énergétiquement pour amener les éléments de la fusée sur cette orbite mais, ensuite, le coût du voyage est notablement réduit, en profitant de la vitesse déjà acquise. Des calculs donnent ainsi un incrément de 3,6 km/s au lieu des 2,9 km/s.

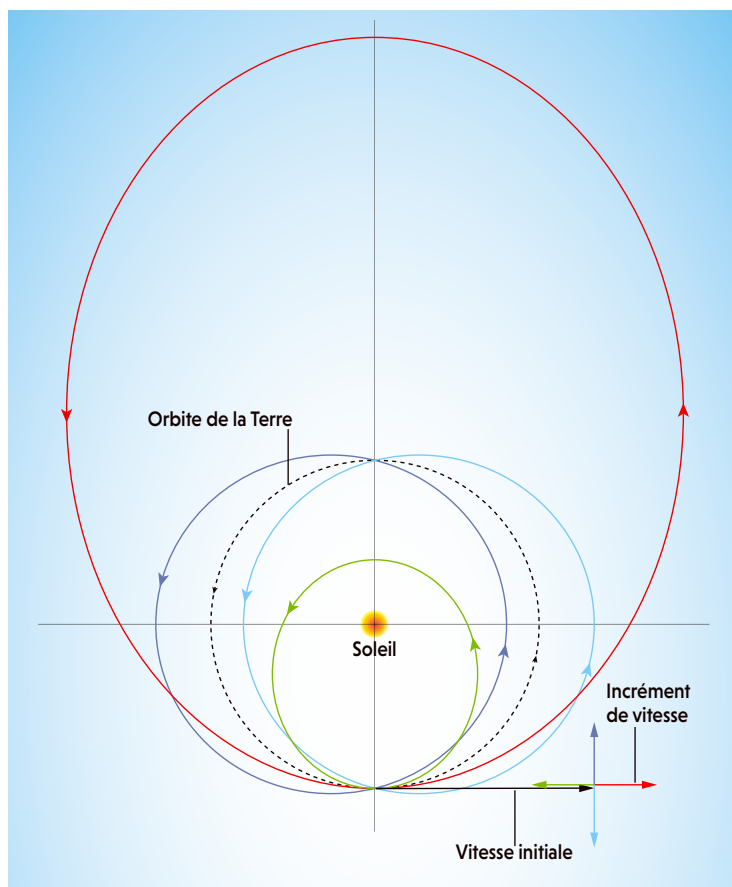
Les gravités planétaires présentent parfois quelques avantages. Imaginons que notre sonde spatiale arrive au voisinage de Mars en la devançant sur sa trajectoire. Si elle arrive suffisamment près de Mars, l'attraction gravitationnelle de Mars devient supérieure à l'attraction gravitationnelle du Soleil. On dit que la sonde est rentrée dans la sphère d'influence de Mars, dont le rayon est estimé à environ 600000 km. Sa

trajectoire est alors contrôlée par Mars, sa vitesse va rapidement augmenter en se rapprochant de la planète, avec le risque soit de la percuter, soit de la frôler à plus de 5,1 km/s et de repartir dans l'espace. C'est pourquoi on freine en général la sonde pour la placer en orbite basse avant qu'elle ne se pose sur la planète. Nul besoin de l'accélérer comme on l'avait évoqué (même si freiner coûte aussi de l'énergie).

On peut aussi jouer sur l'influence gravitationnelle de Mars pour raccourcir la durée du voyage: comme l'orbite de Mars est tangente à l'orbite de transfert à l'aphélie, on peut faire tomber la sonde dans le puits de gravité de la planète bien avant que l'aphélie soit atteint. Le gain peut alors atteindre un bon mois. ■

UN INCRÉMENT DE VITESSE BIEN DIRIGÉ

L'incrément de vitesse appliqué à une sonde spatiale à son départ depuis la Terre donne à l'engin une trajectoire elliptique différente selon la direction de l'incrément. Lorsque l'incrément est donné dans le sens du mouvement initial (celui de la Terre), l'énergie acquise est maximale et la trajectoire qui en résulte (en rouge) a la portée la plus grande. Trois autres situations (en vert, bleu clair et bleu foncé), pour des incréments dirigés en sens opposé ou perpendiculairement au mouvement, sont également figurées ici.



BIBLIOGRAPHIE

A. Stinner et J. Begoray, **Journey to Mars : The physics of travelling to the red planet**, *Physics Education*, vol. 40(1), pp. 35-45, 2005.

L. M. Celnikier, **Basics of Space Flight**, Frontières, 1993.

POUR LA SCIENCE

Édition française de Scientific American

**COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION
DÈS MAINTENANT !**



N° 513 (juill. 20)
réf. PL513



N° 512 (juin 20)
réf. PL512



N° 511 (mai 20)
réf. PL511



N° 510 (avril 20)
réf. PL510



N° 509 (mars 20)
réf. PL509



N° 508 (fév. 20)
réf. PL508



N° 507 (jan 20)
réf. PL507



N° 506 (déc. 19)
réf. PL506



N° 505 (nov. 19)
réf. PL505



N° 504 (oct. 19)
réf. PL504



N° 503 (sept. 19)
réf. PL503



N° 502 (août 19)
réf. PL502

À retourner accompagné de votre règlement à :

Next2C – Service abonnements Pour la Science – 26 BD Président Wilson CS 40032 – 67085 Strasbourg CEDEX – email : pourlascience@abopress.fr



OUI, je commande des numéros de Pour la Science,
au tarif unitaire de 9,90 €.

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres
correspondant aux numéros commandés :

1^{re} réf. 01 x 9,90 € = 9,90 €
2^e réf. x 9,90 € = €
3^e réf. x 9,90 € = €
4^e réf. x 9,90 € = €
5^e réf. x 9,90 € = €
6^e réf. x 9,90 € = €

TOTAL À RÉGLER €

Groupe Pour la Science – Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris
Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z

Offre valable jusqu'au 31/12/2020 en France Métropolitaine uniquement. Pour l'export, rendez-vous sur notre site internet boutique.pourlascience.fr. Les prix affichés incluent les frais de port et les frais logistiques.

Les informations que nous collectons dans ce bulletin d'abonnement nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements, et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société Pour la Science. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. Pour la Science ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à Pour la Science. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls>. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom :

Prénom :

Adresse :

Code postal Ville :

Téléphone

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N°

Date d'expiration

Clé (les 3 chiffres au dos de votre CB)

Signature obligatoire :



RETROUVEZ TOUS LES ANCIENS NUMÉROS SUR
BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR