Le gravidyne

ROLAND LEHOUCQ

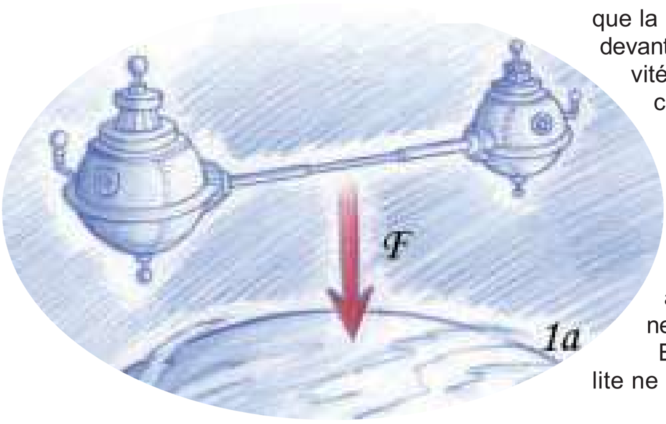
Nous pouvons échapper à l'attraction terrestre à l'aide d'un vaisseau-haltère dont la longueur varie à des instants précis de sa trajectoire.

Cyrano de Bergerac a retardé le duc de Guiche en décrivant sept moyens farfelus d'aller sur la Lune ; émule de Cyrano, le physicien russe V. Béletski a proposé un engin spatial qui paraît étrange au premier abord, mais dont le principe est uniquement fondé sur une conséquence des lois de la gravitation. Dans le champ gravitationnel d'une planète, l'attraction exercée sur un solide étendu diffère de celle exercée sur un point matériel de même masse ; en variant la forme d'un solide, on modifie l'intensité de la force d'attraction qu'il subit et l'on peut le lancer vers les étoiles.

Comment expliquer cette variation ? Quand l'attraction gravitationnelle est uniforme, la force d'attraction est identique en tous les points de l'objet : l'attraction qui s'exerce sur un objet étendu est égale à la force qui s'exerce sur une masse équivalente placée au centre de gravité de l'objet. En revanche, les parties d'un corps étendu plongé dans le champ gravitationnel d'une planète, champ dont l'intensité décroît avec le carré de la distance entre le corps et la planète, subissent des attractions qui peuvent être fort inégales. Chaque partie du corps d'un satellite par exemple, tombe alors vers la planète avec une accélération différente.

Dans le champ terrestre, cet effet est sensible lorsque la dimension du satellite dépasse plusieurs dizaines de kilomètres. Les parties lointaines étant moins attirées que les parties proches, le satellite est étiré le long de l'axe qui lie son centre à celui de la planète. Les marées témoignent de cet étirement : sur Terre, les océans sont déformés par l'attraction de la Lune.

Dessins de Bruno Vacaro



Attraction sur un grand satellite

L'engin que nous nous proposons d'utiliser pour nous déplacer dans le cosmos est en forme d'haltère : deux sphères identiques reliées par une barre rigide de masse négligeable par rapport à celle des sphères. Nous supposerons, de surcroît, que l'axe de la barre est perpendiculaire au plan de l'orbite. Les sphères subissent des attractions terrestres de même intensité, car elles sont situées à la même distance du centre de la Terre, et de directions légèrement différentes puisque les droites qui joignent leur centre à celui de la Terre forment un petit angle.

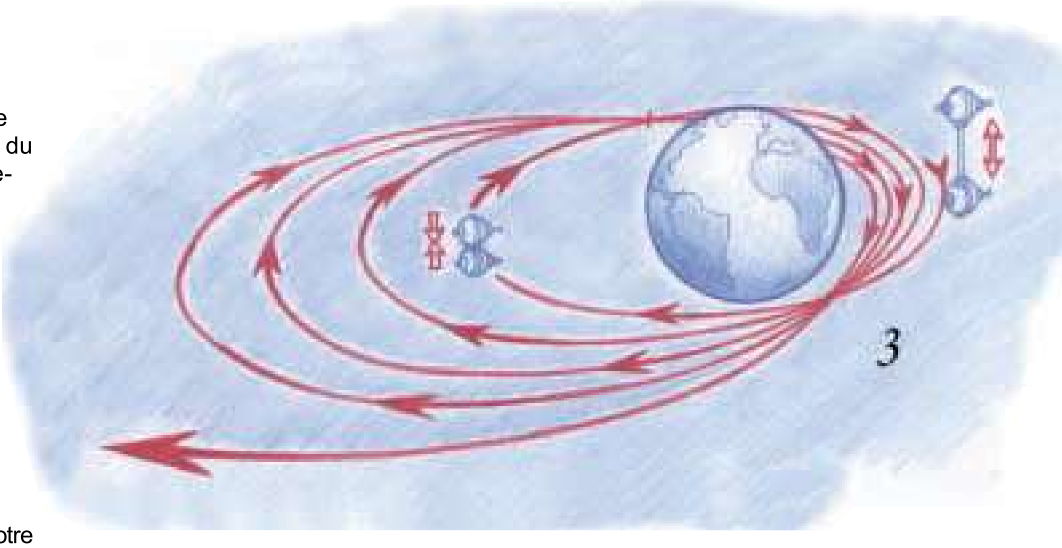
La force d'attraction résultante *F*, orientée vers le centre de la Terre, est presque égale en intensité à la force *F'* que subirait un point matériel de même masse que notre haltère et situé en son centre de gravité. Presque, mais pas tout à fait ! La force *F* est en fait inférieure à la force *F' (voir les figures 1a et 1b)* : l'écart relatif entre les deux forces est proportionnel au carré du rapport entre la longueur de l'haltère et la distance au centre de la Terre (tant que la longueur de l'haltère reste petite devant la distance de son centre de gravité au centre de la Terre). Dans le cas limite où les sphères seraient écartées d'une distance énorme, la force exercée serait presque nulle, puisque cette dernière décroît avec le carré de la distance, alors que la force exercée sur la même masse placée au centre de gravité de l'ensemble ne l'est pas.

En pratique, à moins que le satellite ne soit très grand, l'écart entre les deux forces est faible. Ainsi, pour la station spatiale *Mir*, dont la taille est de 30 mètres et la distance au centre de la Terre d'environ 6 800 000 mètres, l'écart relatif des deux forces, $(F' - F)/F$, vaut trois cent miliardièmes (3×10^{-11}). En d'autres termes, un corps très allongé subit une attraction inférieure à celle d'un corps ramassé sur lui-même. Presque insensible sur de petits satellites, cette différence est ici mise à profit pour concevoir un procédé original de déplacement spatial.

Un vaisseau spatial pulsant

La modification de l'orbite est la clé du voyage spatial. Pour qu'un satellite quitte le voisinage terrestre à partir d'une orbite elliptique, il faut dépenser de l'énergie, c'est-à-dire augmenter l'excentricité *e* (l'allongement de l'ellipse) de l'orbite initiale jusqu'à ce qu'elle dépasse l'unité, valeur au-delà de laquelle la trajectoire devient hyperbolique *(voir la figure 2)*.

Sans apport d'énergie, l'excentricité de l'orbite est constante. Le mouvement d'un solide est en général compliqué par l'interaction entre le déplacement du centre de gravité du solide et la rotation autour de son centre de gravité. Pour des raisons de symétrie, un solide comme notre haltère placé initialement avec son axe de symétrie perpendiculaire au plan de son orbite garde cette orientation. L'excentricité de la trajectoire dépend alors du temps et oscille périodiquement entre deux valeurs extrêmes, minimale au périgée (le point de l'orbite le plus proche de la Terre) et maximale à l'apogée (le point le plus éloigné de la Terre). Ces oscillations sont de très faibles amplitudes, et l'orbite de l'haltère est très proche de l'orbite elliptique d'un point matériel de même masse.



Imaginons maintenant que notre vaisseau-haltère pulse, c'est-à-dire qu'il se contracte et se déploie rapidement sur toute sa longueur à des instants bien choisis. Partant du périgée, l'haltère parcourt une demi-révolution jusqu'à son apogée, où l'excentricité atteint sa valeur maximale. À cet instant, l'haltère se replie : sa longueur devient très faible, et le vaisseau se déplace alors comme un point matériel, c'est-à-dire en suivant un arc d'ellipse dont l'excentricité est celle atteinte à l'apogée.

Revenu au périgée, en un point plus proche de la Terre que le périgée précédent, l'haltère se déploie à nouveau. L'excentricité de sa trajectoire augmente et, lorsque le vaisseau arrive à un nouvel apogée, plus éloigné de la Terre, la trajectoire atteint une excentricité supérieure à celle atteinte lors du précédent passage. L'haltère se replie alors pour conserver la nouvelle valeur de l'excentricité jusqu'à l'instant où il pourra se déployer à nouveau.

Transfert d'énergie et résonances

Après de nombreuses pulsations, l'excentricité de l'orbite aura varié notablement et, lorsqu'elle dépasse l'unité, le vaisseau échappe définitivement à l'attraction terrestre. La trajectoire suivie est une spirale dont le nombre de spires est égal au nombre de pulsations de l'haltère *(voir la figure 3)*. Ce vaisseau spatial est dénommé gravidyne.

D'où provient l'énergie gagnée par le gravidyne ? En changeant de forme, le gravidyne fait varier l'intensité de la force d'attraction qu'il subit, c'est-à-dire qu'il modifie son énergie potentielle gravitationnelle. Celle-ci augmente lorsqu'il se déploie et diminue lorsqu'il se contracte (sa valeur est négative). Cependant, n'oublions pas que ces variations ne se produisent pas à la même distance de la Terre : le déploiement s'effectue à l'apogée, et la contraction au périgée. Ainsi l'énergie du gravidyne augmente plus qu'elle ne diminue.

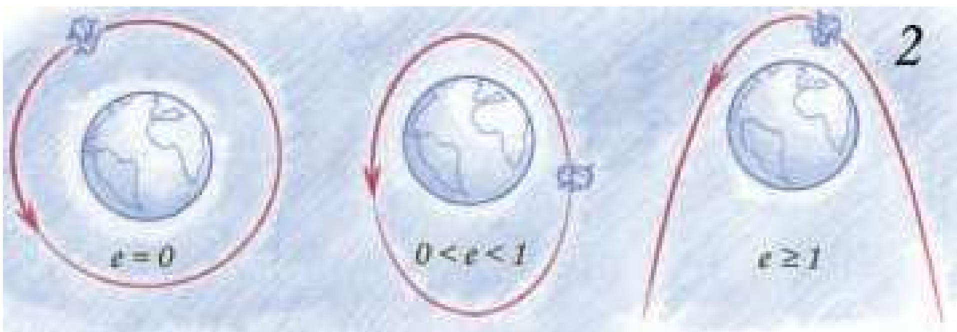
Cette énergie provient du mécanisme qui modifie la géométrie du gravidyne. Puisque la force gravitationnelle est attractive, les deux sphères de l'haltère sont attirées vers le centre de la Terre ; elles ont alors tendance à se rapprocher. Nous récupérons donc de l'énergie lors de la contraction du gravidyne, alors que nous en dépensons pour le déployer. La différence est égale au gain d'énergie orbitale : l'énergie dépensée pour faire pulser le gravidyne est transformée en énergie orbitale.

Le pilotage du gravidyne est aussi fondé sur l'utilisation judicieuse des résonances. La période de pulsation du gravidyne coïncide exactement avec la période de révolution orbitale. On augmente l'énergie du gravidyne en variant sa longueur à des moments bien choisis, tout comme un enfant accélère le mouvement de sa balançoire en déplaçant son corps aux bons moments, ou comme les tireurs du grand encensoir de Saint-Jacques-de-Compostelle augmentent l'amplitude des oscillations en modifiant périodiquement la longueur de la corde de suspension.

Une solution miracle ?

Ce mécanisme d'amplification paramétrique serait donc parfait si le calcul ne nous ramenait à la dure réalité. À chaque cycle, l'excentricité du gravidyne augmente d'une quantité proportionnelle à $(l/a)^2$, où l est la distance des deux masses et où a est la longueur du demi grand axe de l'orbite (tant que l/a est assez petit). Pour atteindre une excentricité unité, synonyme d'échappement, il faudra environ $(a/l)^2$ cycles. Si l'orbite de départ d'un gravidyne d'un kilomètre de longueur a un demi grand axe de 7 000 kilomètres, il lui faudra environ 49 millions de révolutions pour se libérer, ce qui prendra 9 000 ans ! Un gravidyne de 100 kilomètres de longueur atteindrait cet objectif en moins d'un an.

Ce procédé de navigation interplanétaire permet aussi d'imaginer une possibilité inédite de sauvetage d'un cosmonaute perdu hors de sa base spatiale et sans moyen de propulsion : par des pulsations adéquates obtenues en nageant la brasse, il modifiera son orbite et pourra rejoindre son vaisseau. Mais surtout ne demandez pas combien de temps il mettra…



Roland Lehoucq est astrophysicien au Service d'astrophysique du CEA.

V. Béletski, *Essai sur le mouvement des corps cosmiques*, Éditions Mir, 1986.

A. Cazenave et A. Brahic, *L'effet des marées dans le Système solaire*, in Dossier Les terres célestes, *Pour la Science*, avril 1999.

J. S. Losada, *La physique de l'encensoir*, in *Pour la Science*, septembre 1990.