

> choisissant convenablement la vitesse d'un satellite, on peut lui conférer une orbite quasi circulaire où il est en perpétuelle chute quasi libre, ce qui permet d'allonger considérablement la durée des expériences.

UN ESPACE PAS SI VIDE

Ce tableau idyllique doit cependant être nuancé. D'abord, d'autres forces entrent en jeu, notamment la pression de radiation qu'exerce la lumière du Soleil sur la structure du satellite et qui peut varier le long de l'orbite selon son orientation et son ensoleillement.

On peut aussi penser aux impacts de micrométéorites. Ensuite, la force de traînée n'est pas si faible, car la vitesse d'un satellite en orbite basse est très élevée (de l'ordre de 7,5 kilomètres par seconde).

Dans le cas du satellite *Spot-4*, qui pesait 2,76 tonnes et qui était en orbite à 822 kilomètres d'altitude, la décélération due à la traînée était ainsi égale à $1,3 \times 10^{-8}$ mètre par seconde carrée. Cela ne faisait perdre que 2,5 mètres d'altitude par jour au satellite. En revanche, si le même satellite avait été placé à 250 kilomètres d'altitude, il aurait perdu 5 kilomètres par jour à cause de la prodigieuse augmentation de la masse volumique de l'air (même si elle reste très faible) ! Sa durée de vie se serait alors comptée en semaines.

On comprend mieux pourquoi tous les satellites doivent être munis de propulseurs d'appoint : ces derniers sont nécessaires pour corriger leurs trajectoires et leurs positions avec précision.

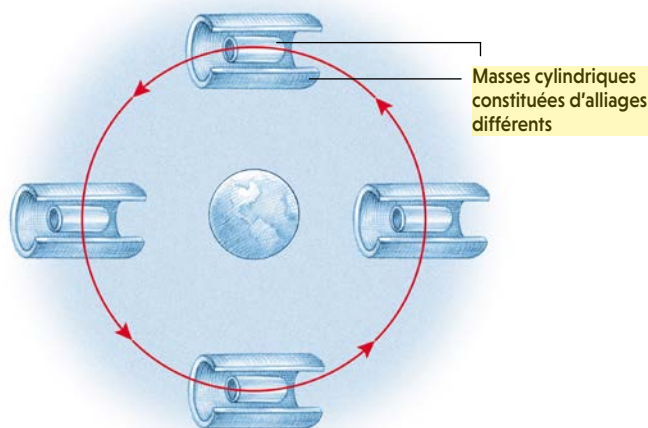
Alors, que faire pour s'approcher encore mieux de la chute libre ? Utiliser des moteurs pour compenser les forces perturbatrices agissant sur le satellite – et cela en continu et non pas en remontrant périodiquement le satellite sur son orbite nominale, comme cela se fait habituellement. C'est le principe de la traînée compensée, mis en œuvre avec le satellite *Microscope*.

Lancé le 25 avril 2016, ce satellite en cours d'exploitation a déjà permis de vérifier avec une précision record le principe d'équivalence, c'est-à-dire l'égalité de la masse pesante et de la masse inerte. L'expérience consiste à mesurer l'éventuelle différence d'accélération entre deux cylindres creux concentriques de compositions différentes (platine et rhodium pour l'un ; titane, aluminium et vanadium pour l'autre) en chute libre autour de la Terre (voir l'encadré ci-dessus).

Ce système de deux masses emboîtées est suspendu à l'intérieur du satellite

CHUTE LIBRE AU SEIN D'UN SATELLITE

Le satellite *Microscope* (acronyme de **M**icro**s**atellite à traînée compensée pour l'observation du principe d'équivalence), lancé en 2016, contient un système de deux masses cylindriques concentriques constituées d'alliages différents. Le système est suspendu sans contact avec le reste du satellite, dont les moteurs assurent qu'il reste immobile par rapport au système des deux masses. Le mouvement du système des deux masses le long de son orbite s'effectue alors avec des forces aérodynamiques totalement négligeables, l'air résiduel à l'intérieur du satellite étant immobile par rapport au système en question. Il s'agit donc d'une véritable chute libre sous l'effet exclusif de la gravitation de la Terre. L'expérience consiste à vérifier qu'il n'y a pas de mouvement d'une masse par rapport à l'autre. Sinon, le principe d'équivalence serait violé : la chute libre différencierait selon la nature du corps.



sans qu'il y ait contact avec la structure de celui-ci, grâce à des forces électrostatiques bien contrôlées. Ainsi, contrairement au satellite, le dispositif n'est pas soumis aux perturbations de l'atmosphère résiduelle extérieure ni à la pression de radiation solaire.

TRAÎNÉE COMPENSÉE

Par ailleurs, l'accélération moyenne du dispositif est mesurée et sert à piloter les moteurs du satellite de façon que celui-ci reste immobile par rapport au système expérimental. Tout se passe alors comme si le satellite était en chute libre, la traînée atmosphérique étant compensée par la poussée des moteurs. En outre, les masses d'épreuve restent immobiles par rapport à l'air résiduel présent à l'intérieur du satellite, ce qui garantit que les forces aérodynamiques agissant sur ces masses sont totalement négligeables.

Ainsi, avec cette traînée compensée, le satellite suit une trajectoire de chute libre. Sur sa durée de vie, l'expérience pourra alors cumuler de longues périodes de chute parfaitement libre, l'objectif étant d'améliorer d'un facteur 100 la précision du test du principe d'équivalence. ■

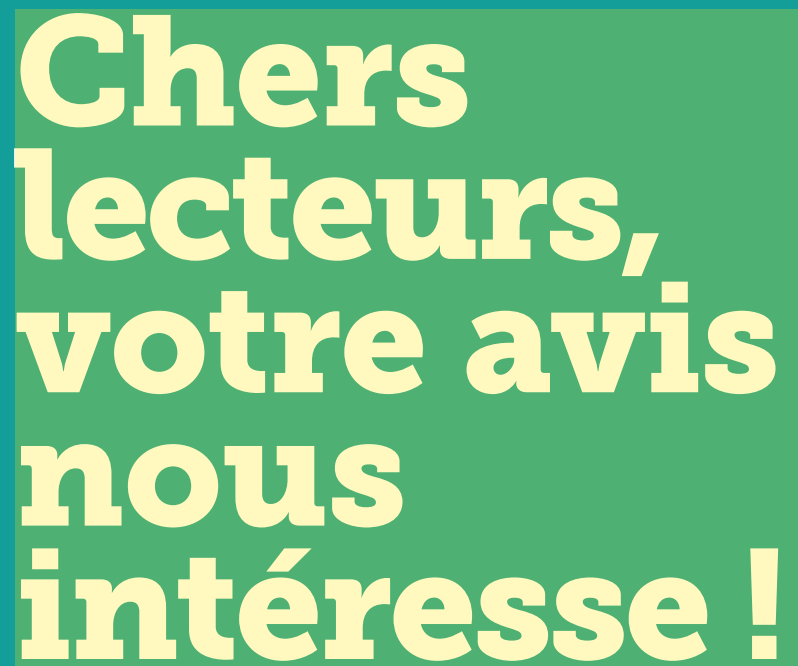
BIBLIOGRAPHIE

P. Touboul et al., **MICROSCOPE mission : First results of a space test of the equivalence principle**, *Physical Review Letters*, vol. 119, article 231101, 2017.

E. M. Gaposchkin et A. J. Coster, **Analysis of satellite drag**, *The Lincoln Laboratory Journal*, vol. 1, pp. 203-224, 1988.

J. P. Marec et al., **Contrôle d'orbite d'un satellite de navigation à traînée compensée**, *Acta Astronautica*, vol. 4, pp. 947-984, 1977.

Le principe d'équivalence, Wikipédia ([fr.wikipedia.org/wiki/Principe_d'équivalence](https://fr.wikipedia.org/wiki/Principe_d%27%C3%A9quivalence)).



Répondez
en quelques
minutes à notre
enquête sur Internet :

rebrand.ly/enquete-pls

DE NOMBREUX LOTS À GAGNER

L'AUTEUR



HERVÉ LE GUYADER
professeur émérite de biologie
évolutive à Sorbonne
Université, à Paris

Escherichia coli L'ÉVOLUTION EN MARCHÉ

En trois jours, une bactérie *Escherichia coli* produit 200 générations de descendantes. Combien de mutations accumule sa lignée ? Où ? À quelle fréquence ? Et avec quelles conséquences ? Des biologistes viennent d'apporter les réponses.

Suivre en direct, cellule par cellule, les mutations chez la bactérie *Escherichia coli*: ce rêve de Salvador Luria et Max Delbrück, pionniers de la biologie moléculaire et tous deux lauréats en 1969 du prix Nobel de physiologie et médecine, vient de se réaliser soixante-quinze ans après leurs premières expériences. Luria et Delbrück n'avaient pu traquer que des mutations sélectionnées. Mais en mars dernier, Marina Elez et Lydia Robert, du laboratoire Jean-Perrin de Sorbonne Université, à Paris, et leurs collègues ont réussi à suivre les mutations d'une bactérie et de ses descendantes sur plusieurs centaines de générations. Ils ont ainsi montré que, dans leur très grande majorité, ces mutations sont neutres.

En 1936, l'Allemand Max Delbrück, physicien théoricien converti à la biologie par Niels Bohr, fuit le nazisme et, grâce à la

fondation Rockefeller, rejoint le California Institute of Technology où il découvre l'intérêt des bactériophages, les virus de bactéries, pour comprendre les bases de la génétique. En 1940, l'Italien Salvatore Luria, médecin radiologue d'une grande famille intellectuelle juive, en stage à l'Institut Pasteur, à Paris, rejoint Marseille à bicyclette lors de l'invasion allemande et s'embarque pour les États-Unis, où le physicien italien Enrico Fermi, récemment lauréat du prix Nobel, lui obtient une bourse de la fondation Rockefeller.

Dès leur rencontre, Luria l'expérimentateur et Delbrück le théoricien fondent, avec Alfred Hershey (aussi lauréat du prix Nobel de 1969), le Groupe du phage, qui révolutionnera la biologie évolutive. Leur première publication commune, exceptionnelle, en 1943, vise à répondre à une question majeure posée dès 1932 par le généticien de la drosophile Thomas Morgan: quelle est la nature de la



Les bactéries *E. coli* constituent 80 % de la flore intestinale aérobie humaine ; elles peuvent néanmoins donner des lignées pathogènes, décrites à la fin du XIX^e siècle par le pédiatre Theodor Escherich, par acquisition de gènes de virulence.

Elle est capable de vivre avec ou sans oxygène.