

Comment engendrer une telle force, certes de faible intensité, mais de longue durée ? Une première idée est, comme dans les moteurs électriques, de mettre à profit la force de Laplace qu'exerce un champ magnétique sur un fil conducteur parcouru par un courant électrique.

Un câble conducteur en guise de frein

L'aimant est tout trouvé : c'est le champ magnétique terrestre. Restent le conducteur électrique et le courant. Le champ magnétique terrestre étant faible (de l'ordre de 20 microteslas aux altitudes envisagées), pour obtenir une force de 40 millinewtons avec un courant modéré, disons de l'ordre d'une fraction d'ampère, il faut un conducteur long de plusieurs kilomètres. Cette longueur est tout à fait envisageable dans l'espace : elle correspond à une masse de l'ordre de 7 kilogrammes pour un câble en aluminium long de 5 kilomètres et d'un millimètre de diamètre.

Comment le câble est-il alimenté ? Ce conducteur étant en mouvement dans un champ magnétique, une tension est induite entre ses extrémités. Avec une vitesse de 7,2 kilomètres par seconde à une altitude de 1 300 kilomètres, on obtient des tensions de l'ordre du kilovolt si le câble pend verticalement sous le satellite, lequel constitue alors le pôle positif s'il tourne d'Est en Ouest autour de la Terre (voir la figure 1).

Le câble spatial ainsi mis sous tension, un courant électrique y circule. Pourquoi ? Comment le circuit électrique est-il fermé ? Il faut se souvenir qu'à ces altitudes, le satellite baigne dans un plasma (gaz ionisé) faiblement conducteur. Le câble lui-même, dans le cas du prototype *Terminator Tether* développé par une compagnie américaine, ou un ballon conducteur dans d'autres projets, collecte les charges du plasma. Ces dernières circulent alors dans le câble et, pour éviter toute accumulation aux extrémités, ce qui interromprait le courant, le pôle positif du câble (cela peut être le satellite lui-même) est équipé d'un canon à électrons qui réinjecte dans le plasma les électrons excédentaires. Le circuit électrique est ainsi fermé, le tout



2. POUR EXPULSER UN DÉBRIS D'UNE ORBITE GÉOSTATIONNAIRE, une possibilité serait d'utiliser un satellite remorqueur qui, à l'aide d'un canon à électrons, chargerait négativement le débris et se chargerait positivement, créant ainsi une attraction entre les deux objets.

pour une trentaine de kilogrammes, soit de l'ordre de deux pour cent de la masse d'un satellite ordinaire.

Pour diverses raisons, cette méthode n'est hélas pas utilisable pour les satellites géostationnaires, en orbite à 36 000 kilomètres d'altitude. Notamment, le champ magnétique bien plus faible (0,1 microtesla), le plasma bien moins conducteur, et la vitesse du satellite moins élevée (3 kilomètres par seconde) ne peuvent être compensés par un allongement raisonnable du câble.

Débris géostationnaires tractés à distance

L'altitude géostationnaire est très recherchée (on y place notamment les satellites de télécommunication et ceux d'observation) et on ne peut pas, comme pour les orbites basses, se placer à côté, un peu plus haut ou un peu plus bas : on perdrait le caractère géostationnaire. La place y est donc limitée et chère. Or actuellement, si près de 1 200 objets y sont catalogués, seuls 400 d'entre eux sont des satellites en fonctionnement et sous contrôle.

L'idée la plus prometteuse pour nettoyer cette orbite est non pas de faire retomber les objets vers la Terre, mais de les repousser dans des orbites-cimetières, situées 200 à 300 kilomètres au-dessus de l'altitude

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTUY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur www.pourlascience.fr



BIBLIOGRAPHIE

H. Schaub et D. F. Moorer Jr., **Geosynchronous large debris reorbiter: Challenges and prospects**, American Astronautical Society, document AAS 10-311, 2010 (<http://hanspeterschaub.info/Papers/Schaub2010.pdf>).

R. Hoyt et R. Forward, **The Terminator Tether™: Autonomous deorbit of LEO spacecraft for space debris mitigation**, American Institute of Aeronautics and Astronautics, document AIAA 00-0329, 2000 (www.tethers.com/papers/TTREno00.pdf).

géostationnaire. Pour ce faire, il semble nécessaire d'utiliser un satellite remorqueur. Mais comment établir le lien entre la remorque et le débris ? L'une des idées proposées est simple et séduisante : charger électriquement le remorqueur ainsi que l'objet tracté à distance (donc sans risque de collision) de façon à ce qu'ils s'attirent (voir la figure 2). Avec une différence de potentiel de quelques dizaines de kilovolts et une séparation de 15 à 25 mètres, la force attractive serait de quelques millinewtons, suffisante pour changer d'orbite en quelques dizaines de jours (un gain de quelques kilomètres à chaque révolution). Il est en revanche nécessaire que le remorqueur ait ses propres moteurs.

La réalisation d'une telle opération nécessiterait là encore un canon à électrons. Par une manœuvre d'approche, le

remorqueur se placerait sur la même orbite que le débris à déplacer, à une vingtaine de mètres devant ce dernier. Il mettrait alors en action son canon à électrons en visant le satellite cible. Cela aurait pour effet de charger ce dernier négativement, tandis que le remorqueur, se vidant de ses électrons, se chargerait positivement.

Le plasma ambiant étant peu conducteur à cette altitude, les satellites ne se déchargeraient pas trop vite. Les deux objets, portant des charges électriques de signes opposés, s'attireraient l'un l'autre. On ajusterait ensuite la force de traction du remorqueur et le débit du canon à électrons pour que le remorqueur et le débris à déplacer gardent une distance fixe et subissent la même accélération. Ils s'écarteraient alors de conserve de l'orbite géostationnaire. ■



les conférences

au Palais de la découverte

Entrée libre dans la limite des places disponibles.

> les samedis 18 janvier, 1^{er} et 15 février à 14h30

CYCLE Mathématiques, jeux et comportements

Le jeu du dilemme du prisonnier permet d'étudier notre manière d'agir.
Le cube de Rubik ouvre une voie d'exploration des mathématiques combinatoires...
Chercheurs et médiateurs scientifiques explorent des mathématiques par le jeu.

► Avant et après chaque conférence, participez à des « récréations mathématiques » animées par un médiateur scientifique du Palais de la découverte.

programme complet sur www.universcience.fr

Avec le soutien de



