

IDÉES DE PHYSIQUE

Grand ménage spatial à l'électricité

Comment se débarrasser des débris qui encombrant l'espace autour de la Terre ? L'utilisation de forces électromagnétiques de faible intensité est envisagée.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

L'espace au voisinage de la Terre se remplit progressivement de débris variés, de la pièce détachée lors d'une collision accidentelle de deux satellites au satellite entier dont le contrôle a été perdu ou qui est en fin de vie. Certaines orbites commencent déjà à être encombrées et, à terme, les risques d'impact avec ces déchets deviendront inacceptables pour les activités spatiales.

Dans cette perspective, des techniques de nettoyage sont à l'étude. À côté de méthodes reproduisant ce que nous faisons sur Terre, telle la collecte mécanique de déchets à l'aide de bras robotisés, les scientifiques imaginent des procédés mettant à profit le fait que dans l'espace, en l'absence de frottement, de petites forces appliquées longtemps peuvent avoir de grands effets.

Lorsque l'atmosphère est assez dense, les frottements de l'air suffisent à freiner les objets spatiaux en orbite et à les faire retomber sur Terre, voire les désintégrer s'ils sont assez petits. Ainsi, à 200 kilomètres d'altitude, la durée de vie d'un satellite est d'environ 60 jours. Mais dès que l'on s'élève, la densité de l'air, donc les frottements, diminuent et la durée de vie augmente. À 250 kilomètres d'altitude, on passe à 220 jours ; dès 500 kilomètres, le satellite reste en orbite quelques années, et à 1 000 kilomètres, c'est plusieurs siècles !

Aussi, pour ces orbites basses, comprises entre 500 et 2 000 kilomètres

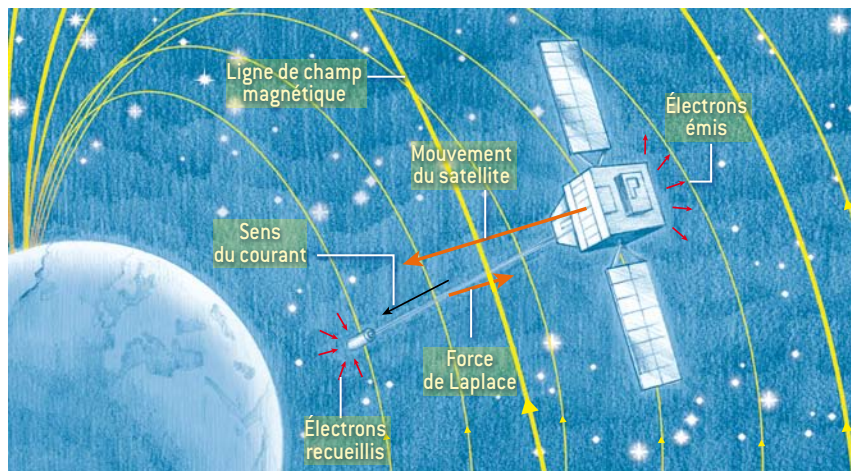
d'altitude, la meilleure méthode pour se débarrasser d'un satellite est d'abord de le faire descendre à une altitude de 200 kilomètres, puis de laisser agir l'atmosphère. Pour ce faire, il faut le décélérer d'environ 400 mètres par seconde. Comment ?

Comment freiner un débris en orbite ?

La solution actuelle est d'utiliser des moteurs à réaction qui éjectent de la masse dans la direction du mouvement. Hélas, la quantité de matière requise pour freiner suffisamment le satellite est de l'ordre d'un cinquième de sa masse. C'est donc 20 pour

cent de masse supplémentaire qu'il faut mettre en orbite pour s'assurer de la fin de vie, autant de masse perdue pour des applications plus intéressantes. Peut-on envisager des alternatives ?

Acquérir une vitesse de 400 mètres par seconde paraît considérable. Pourtant, la force nécessaire n'est pas si importante si l'on a du temps. Ainsi, pour une durée de quatre mois, soit dix millions de secondes, l'accélération requise est de l'ordre de 4×10^{-5} mètre par seconde carrée, soit quatre millièmes de l'accélération de la pesanteur. Pour un satellite d'une tonne, cela correspond à une force de 40 millinewtons – le poids d'une masse de 4 grammes !



1. DANS UN LONG CÂBLE CONDUCTEUR suspendu au satellite, qui se déplace dans le champ magnétique terrestre, ce dernier induit un courant électrique. Le circuit est fermé grâce au plasma conducteur ambiant. La force dite de Laplace exercée par le champ sur ce courant permet de modifier la trajectoire du satellite.

Dessins de Bruno Vacaro

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

