

L'action des courants de Foucault s'oppose à la cause qui les a produits (loi de Lenz). Le premier effet est donc une force de traînée, opposée à la vitesse ; on le met à profit dans les freins à induction qui équipent les camions ou les trains à grande vitesse. Un second effet, moins connu, est l'apparition d'une force de portance qui repousse l'aimant : puisque le champ magnétique de l'aimant diminue avec la distance, et les courants induits aussi, la loi de Lenz favorise l'éloignement. De façon remarquable, la portance croît avec la vitesse de l'aimant pour atteindre une certaine valeur maximale, tandis que la traînée passe par un maximum, puis diminue à vitesse plus élevée.

Le train flotte grâce aux courants induits

En 1966, les chercheurs américains James Powell et Gordon Danby ont proposé d'utiliser ce mécanisme pour sustenter un train, et ont contribué à développer sur ce principe le *Maglev* japonais. Dans ce système, la force de portance, qui augmente avec la vitesse, n'est suffisamment élevée que si la vitesse du train dépasse un certain seuil, de l'ordre de 100 kilomètres par heure pour les MLX. Le train est donc muni de roues ne servant qu'aux phases de démarrage ou d'arrêt. En phase de lévitation, la stabilité du train est automatiquement assurée : si le véhicule se rapproche du sol, la force de portance, répulsive, augmente et empêche le contact.

La force de traînée pose en revanche un sérieux problème. Elle serait rédhibitoire si J. Powell et G. Danby n'avaient eu l'idée d'utiliser pour les rails, non pas un conducteur massif placé sous le train, mais des bobines conductrices en forme de huit connectées les unes aux autres et placées de chaque côté (voir la figure 3). Les deux boucles qui composent le huit ont des enroulements de sens opposés. Il s'ensuit que lorsque l'aimant qui lui fait face est centré, les flux magnétiques qui traversent ces deux boucles se compensent. Il n'y a alors pas de courant induit, donc pas de dissipation d'énergie.

Dans cette situation, il n'y a pas non plus de portance. Par conséquent, sous l'effet

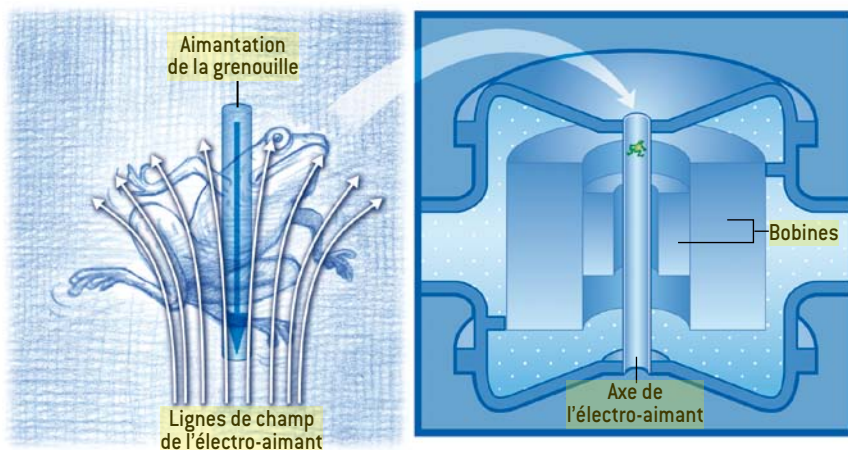
de son poids, le train s'abaisse légèrement sous le plan de symétrie. Des courants sont alors induits dans le circuit et engendrent une portance proportionnelle à l'abaissement, tandis que la traînée croît comme son carré. Pour les faibles écartements, cette traînée magnétique, 100 fois inférieure à la portance, est un ordre de grandeur inférieur à la traînée aérodynamique.

Le MLX fonctionne avec de tels rails. À grande vitesse, il flotte à quelques centimètres au-dessus du sol, un écart confortable pour pallier d'éventuels incidents. Par ailleurs, s'il se rapproche d'un des rails et

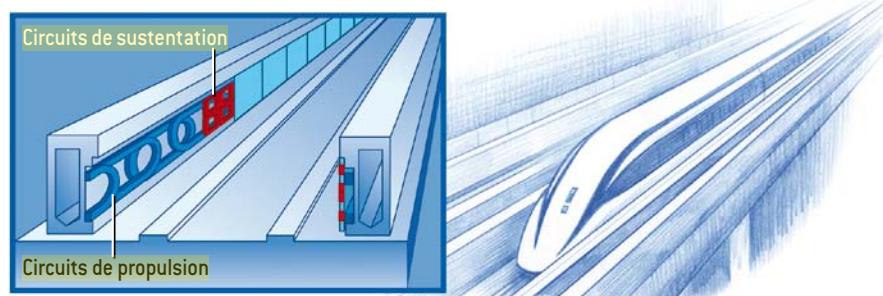
LES AUTEURS



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



2. UN CHAMP MAGNÉTIQUE PUISSANT ET NON HOMOGENÈME, produit par un électro-aimant, peut faire léviter de façon stable un objet ordinaire. En agissant sur les nuages électroniques des molécules, le champ magnétique induit en chacun des points de l'objet de minuscules boucles de courant électrique. Ces courants, via les champs magnétiques qu'ils engendrent, s'opposent aux causes qui les produisent : l'objet est repoussé vers des zones où règne un champ magnétique plus faible.



3. LE TRAIN EXPÉRIMENTAL JAPONAIS MAGLEV a un système de sustentation magnétique composé de circuits en huit (en rouge) disposés latéralement sur les rails et fonctionnant grâce à des électro-aimants supraconducteurs embarqués. Si le train dévie verticalement ou latéralement par rapport aux rails, le champ magnétique des électro-aimants induit dans les circuits en huit des courants, lesquels engendrent des champs magnétiques qui rectifient la posture du train. La propulsion est également assurée par des champs magnétiques, via un jeu de bobines embarquées et un autre jeu de bobines (en bleu) disposées le long des rails.

BIBLIOGRAPHIE

D. Oster *et al.*, Evacuated tube transport technologies (ET3): A maximum value global transportation network [...], *Journal of Modern Transportation*, vol. 19(1), pp. 42-50, 2011.

J. Powell et G. Danby, Maglev: The new mode of transport for the 21st century, *21st Century Science and Technology*, vol. 16(2), pp. 43-57, 2003.

B. V. Jayawant, Electromagnetic suspension and levitation techniques, *Proceedings of the Royal Society of London A*, vol. 416, pp. 245-320, 1988.

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



s'éloigne donc de l'autre, par exemple sous l'effet du vent, une force latérale apparaît et vient le ramener dans le droit chemin.

L'autre idée astucieuse de J. Powell et G. Dandy est d'avoir suggéré l'utilisation d'électro-aimants supraconducteurs embarqués dans le train. Extrêmement puissants, capables de créer les forces de sustentation suffisantes, ces aimants ont une résistance électrique – donc une consommation électrique – nulle, même lorsqu'ils sont parcourus par des centaines de kiloampères. En revanche, il faut alimenter le système cryogénique qui refroidit et maintient l'alliage niobium-titane à la température de l'hélium liquide (4,2 kelvins, soit -269°C). On comprend l'intérêt que pourrait représenter pour ces trains le développement de matériaux restant supraconducteurs jusqu'à une température

relativement élevée (supérieure à 77 kelvins, la température de l'azote liquide) !

Par ailleurs, c'est aussi le magnétisme qui assure la propulsion, grâce à un moteur mettant en jeu des bobines embarquées alimentées en courant alternatif et un second jeu de bobines situées le long du rail.

On le devine, la conception des rails reste compliquée et le coût d'infrastructure élevé. Cela n'empêche pas certains de rêver déjà à la génération suivante : puisque le ralentissement principal est dû à la traînée aérodynamique, supprimons-la en faisant circuler ces trains dans des tubes où règne le vide ! C'est ainsi que les projets *Swissmetro* ou plus récemment encore ET3 promettent de gagner un ordre de grandeur en vitesse pour une même dépense énergétique. À quand des trains glissant à 5 000 kilomètres par heure ?

**MARS, MERCURE & VÉNUS, SATURNE, JUPITER, NEPTUNE & URANUS, PLUTON.
EMBARQUEZ POUR SIX VOYAGES EXTRAORDINAIRES !**

ENIGMES DES PLANETES

VOYAGE AU CŒUR DU SYSTÈME SOLAIRE

- Des images exceptionnelles et inédites rapportées par les sondes spatiales
- des interviews des plus grands spécialistes mondiaux
- de stupéfiantes reconstitutions en 3D.

EN COFFRET 2 DVD LE 6 MAI 2013

RETROUVEZ SHOWSHANK FILMS SUR FACEBOOK

SHOWSHANK FILMS

6 FILMS POUR COMPRENDRE NOTRE SYSTÈME PLANÉTAIRE

ENIGMES DES PLANETES

VOYAGE AU CŒUR DU SYSTÈME SOLAIRE

2 DVD