

## L'ESSENTIEL

> Recharger les batteries d'un appareil électronique sans l'intermédiaire d'un fil est pratique, voire nécessaire pour certaines applications.

> Dans les techniques actuelles de recharge sans fil, le chargeur et l'appareil à charger doivent être immobiles l'un par rapport

à l'autre et dans une position relative précise.

> Des chercheurs de l'université Stanford ont conçu un système insensible à l'écartement entre le chargeur et l'appareil. Cela ouvrirait la voie à un dispositif permettant de recharger pendant que l'appareil est en mouvement.

## L'AUTEUR



**GEOFFROY LEROSEY**  
chargé de recherche  
à l'institut Langevin  
(CNRS/ESPCI Paris),  
à Paris

Article publié initialement par *Nature* le 15 juin 2017 sous le titre *Wireless power on the move* ([www.nature.com/articles/546354a](http://www.nature.com/articles/546354a)). Traduction et édition réalisées par *Pour la Science*.

# Recharger sans fil et en mouvement

RECHARGER LES BATTERIES D'UN TÉLÉPHONE OU D'UN VÉHICULE ÉLECTRIQUE SANS QU'IL Y AIT CONTACT MATÉRIEL EST POSSIBLE. MAIS POURRAIT-ON LE FAIRE TOUT EN ÉTANT EN MOUVEMENT? OUI, GRÂCE À LA SYMÉTRIE PARITÉ-TEMPS...

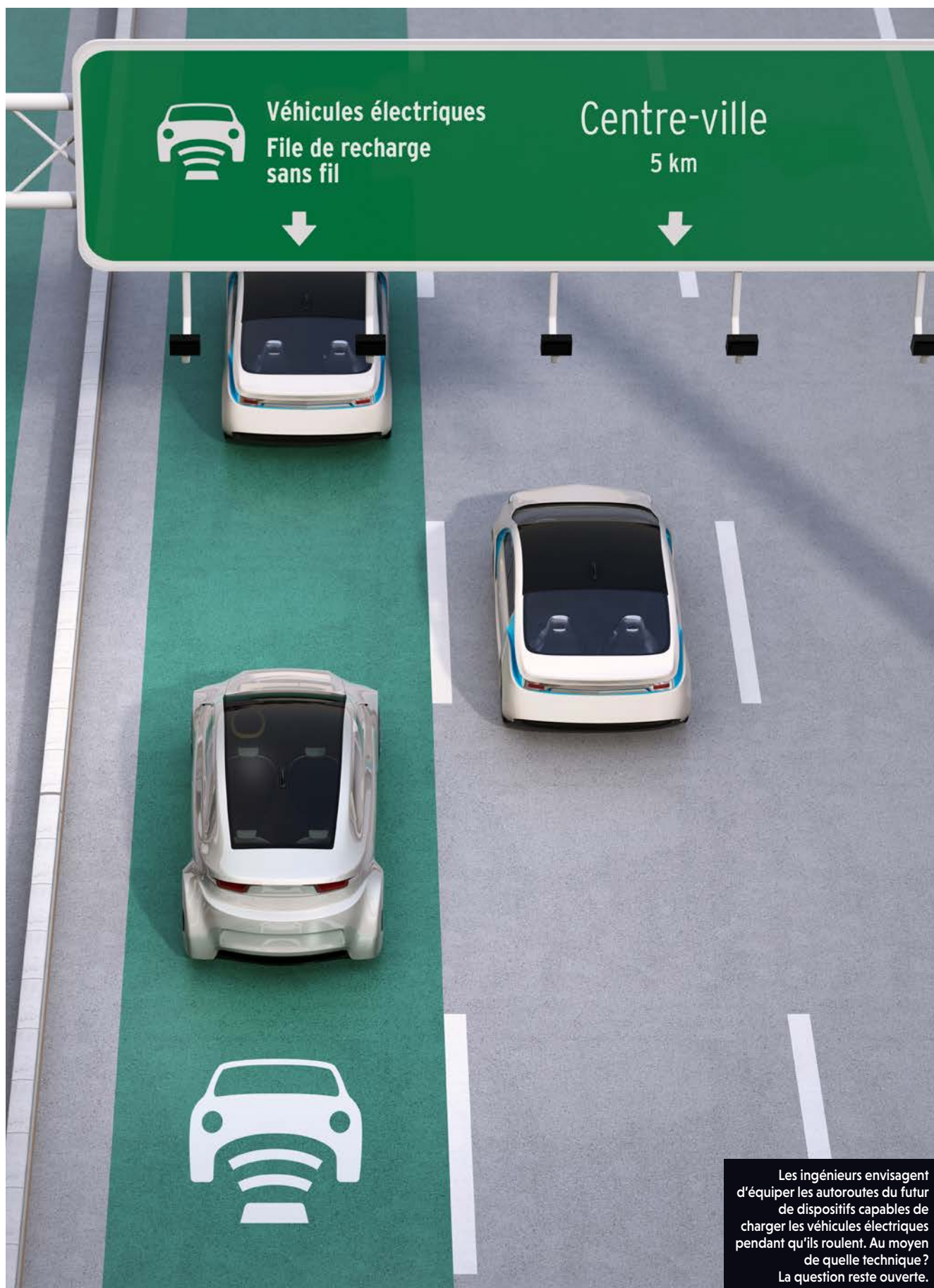
**L**a notion de transmission d'énergie sans fil remonte aux travaux pionniers de l'ingénieur d'origine serbe Nikola Tesla il y a un siècle environ. Mais l'idée n'a refait surface qu'au cours des dernières décennies, motivée par le nombre croissant d'appareils électroniques alimentés par des batteries – des brosses à dents aux tablettes numériques en passant par les implants médicaux.

Figurant parmi les dernières propositions, le « transfert d'énergie sans fil par résonance » permet de transmettre sans fil, avec efficacité, de l'énergie électrique à un appareil immobile. Cependant, avec le développement rapide des véhicules électriques, il serait intéressant de fournir de l'électricité à des dispositifs en mouvement. Sid Assawaworrarit, Xiaofang Yu et Shanhui Fan, chercheurs au département de génie électrique de l'université Stanford, aux États-Unis, viennent de rapporter dans la revue *Nature* du 15 juin

dernier une stratégie astucieuse pour résoudre ce problème, en faisant appel à un concept de la physique fondamentale nommé symétrie parité-temps.

## INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE ENTRE DEUX BOBINES

Les chargeurs sans fil modernes fonctionnent typiquement de la façon suivante (voir l'encadré page 70). On se sert d'ondes radio pour exciter une bobine de fil conducteur, que l'on qualifie d'inductance résonante et qui joue le rôle de réservoir d'énergie électromagnétique. Lorsqu'une seconde inductance résonante suffisamment similaire est approchée du premier, les inductances interagissent fortement; elles échangent de l'énergie plus vite qu'elles ne peuvent en acquérir ou en dissiper, et se comportent comme un circuit unique dans lequel l'énergie est uniformément répartie. Un circuit électrique nommé redresseur extrait alors l'énergie électromagnétique >



Les ingénieurs envisagent d'équiper les autoroutes du futur de dispositifs capables de charger les véhicules électriques pendant qu'ils roulent. Au moyen de quelle technique ? La question reste ouverte.

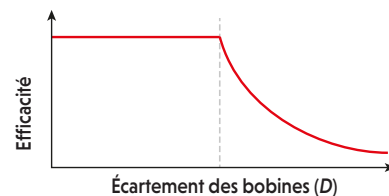
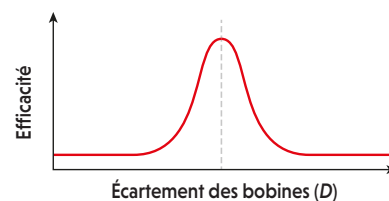
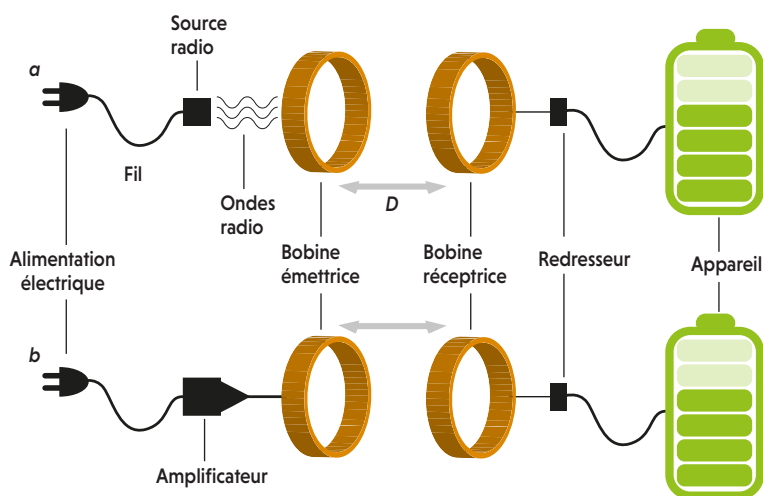
## DEUX MÉTHODES POUR TRANSFÉRER SANS CONTACT DE L'ÉNERGIE

Dans des chargeurs modernes sans fil, on fournit de l'énergie électrique à une source d'ondes radio (a), lesquelles excitent une bobine de fil conducteur nommée inductance résonante (la bobine émettrice). Quand on approche une seconde inductance (la bobine réceptrice) de la première, la paire se comporte comme un seul circuit où l'énergie électromagnétique se répartit uniformément. Un circuit électrique nommé redresseur extrait alors l'énergie de la bobine réceptrice et la transmet à l'appareil à charger.

Dans cette approche, l'efficacité du transfert d'énergie entre les bobines n'est maximale que si leur écartement prend une

valeur donnée (ligne pointillée dans le graphique du schéma a).

Sid Assawaworrarit, Xiaofang Yu et Shanhui Fan, de l'université Stanford, ont fait la démonstration d'une méthode alternative où la source d'ondes radio est remplacée par un amplificateur, qui amplifie l'énergie électromagnétique dans la bobine émettrice (b). En exploitant une notion de physique fondamentale nommée symétrie parité-temps, ces chercheurs atteignent une efficacité maximale du transfert d'énergie entre les bobines quel que soit leur écartement, jusqu'à une distance de 70 centimètres environ (ligne pointillée dans le graphique du schéma b).



> présente dans la seconde inductance et la transfère à l'appareil qu'il faut charger.

L'un des avantages de cette approche par rapport à d'autres techniques est qu'elle utilise des inductances et donc des champs pour l'essentiel magnétiques plutôt qu'électriques. Comme les champs magnétiques interagissent plus faiblement avec la matière vivante que les champs électriques, la méthode est plus sûre pour les applications pratiques. De plus, l'énergie peut être transmise sans fil sur des distances pouvant aller jusqu'à 1 mètre, selon la taille des bobines.

### SENSIBILITÉ À L'ÉCARTEMENT DES BOBINES ET À LEUR ORIENTATION

Toutefois, cette approche présente un inconvénient majeur. Le fort couplage entre les inductances résonantes influe sur leurs propriétés électromagnétiques d'une façon qui dépend beaucoup de l'écart entre les inductances et de leur orientation relative. Par conséquent, les propriétés de la source radio doivent être finement ajustées à l'aide d'un

circuit électronique afin d'obtenir un transfert d'énergie efficace, ce qui est difficile à réaliser si les bobines ne sont pas immobiles.

Sid Assawaworrarit et ses collègues ont adopté une stratégie complètement différente, fondée sur la notion de symétrie parité-temps – propriété caractérisant les systèmes physiques qui ne changent pas sous l'effet combiné d'une réflexion dans un miroir et de l'inversion du sens d'écoulement du temps. La symétrie parité-temps puise ses racines dans la mécanique quantique, et la question de savoir si cette symétrie est une propriété fondamentale de la nature reste ouverte. Néanmoins, il est possible de construire des systèmes classiques (non quantiques) présentant une symétrie parité-temps, ce qui permet d'explorer à la fois le concept et ses applications potentielles.

De tels systèmes sont constitués de composants disposés symétriquement qui peuvent soit absorber l'énergie électromagnétique (canaux de dissipation) soit l'émettre et l'amplifier (canaux de gain). Ils jouissent de propriétés particulières qui ont conduit à de

nombreuses avancées, en particulier en optique physique. Par exemple, un laser multimode, qui comporte de nombreuses fréquences différentes, peut être transformé en un laser monomode grâce à la symétrie parité-temps.



# La proposition des trois chercheurs simplifie grandement la conception des chargeurs sans fil



Sid Assawaworrarit et ses collègues ont pu exploiter cette idée en remarquant que tout appareil électrique (nommé charge) qui tire de l'électricité de la bobine réceptrice peut être considéré comme un canal de dissipation, tandis qu'un amplificateur connecté à la bobine émettrice peut être considéré comme un canal de gain (voir l'encadré page précédente, b).

## UNE EFFICACITÉ DU TRANSFERT D'ÉNERGIE INDÉPENDANTE DE LA DISTANCE

Dès lors, si les inductances résonantes sont identiques, et si l'augmentation de l'énergie électromagnétique fournie par l'amplificateur dépasse une valeur donnée qui dépend de la charge, le système entier devient symétrique en parité-temps. Un tel système sélectionne automatiquement la fréquence de fonctionnement qui correspond à l'efficacité maximale du transfert d'énergie, indépendamment de la distance qui sépare les bobines. Il en résulte un transfert d'énergie qui ne nécessite ni bobines statiques, ni source d'ondes radio, ni circuit d'ajustement.

Après avoir validé leur stratégie grâce à des simulations, Sid Assawaworrarit et ses collègues en ont fait la démonstration expérimentale. Ils connectent une inductance résonante à un amplificateur et une inductance identique à une résistance, qui fait office de charge. Ils observent un transfert d'énergie sans fil avec un rendement de 100 %,

indépendamment de la distance entre les inductances, jusqu'à 70 centimètres environ. Plus spectaculaire encore, ils montrent que lorsqu'on remplace la résistance par une diode électroluminescente, la luminosité de la diode est indépendante de la distance de séparation. Les trois chercheurs ont utilisé des simulations numériques pour montrer que leur système ajuste automatiquement sa fréquence de fonctionnement en quelques dizaines de microsecondes.

Les résultats de Sid Assawaworrarit et ses collègues sont impressionnants à plus d'un titre. Tout d'abord, ils sont une preuve supplémentaire que des concepts fondamentaux de la physique quantique (une discipline scientifique assez absconse pour le non-spécialiste) peuvent déboucher sur des applications pratiques. Ensuite, la proposition des trois chercheurs simplifie grandement la conception des chargeurs sans fil, en remplaçant une source d'ondes radio finement ajustée par un amplificateur. Enfin, et surtout, ces travaux ouvrent la voie à un transfert d'énergie sans fil robuste et dynamique. C'est une idée extrêmement séduisante, qu'il s'agisse de charger des implants médicaux ou d'alimenter des véhicules électriques en mouvement.

Cependant, pour que ces applications se concrétisent, il faudra poursuivre les efforts de recherche. Par exemple, bien que Sid Assawaworrarit et ses collègues démontrent que l'efficacité du transfert d'énergie entre les bobines s'élève à 100 %, ce n'est pas le cas du transfert entre le bloc d'alimentation et la charge. Pour y remédier, il faudra un amplificateur hautement optimisé dont le coût pourrait se révéler déraisonnablement élevé.

Qui plus est, les trois chercheurs montrent que l'efficacité du transfert n'est pas dégradée si on déplace la bobine de réception le long de l'axe reliant les bobines émettrice et réceptrice. Mais dans les applications pratiques, la bobine réceptrice se déplacera probablement perpendiculairement à cet axe: par exemple, dans le cas d'un véhicule électrique, la bobine émettrice se trouverait dans le sol et la bobine réceptrice se situerait dans le dessous du véhicule, parallèle au sol. Cela affectera-t-il la symétrie parité-temps de ce système et son comportement?

De plus, si la bobine réceptrice se déplace à relativement grande vitesse par rapport à la bobine émettrice immobile, la quantité d'énergie transférée sera-t-elle suffisante pour que la technologie soit utile? Il est nécessaire de répondre à ces questions avant que ce concept élégant ne puisse trouver des applications dans des situations réelles. Toutefois, il jette d'ores et déjà un pont fascinant entre le monde de la physique quantique et celui de l'ingénierie. ■

### BIBLIOGRAPHIE

S. Assawaworrarit et al., **Robust wireless power transfer using a nonlinear parity-time-symmetric circuit**, *Nature*, vol. 546, pp. 387-390, 2017.

J. Schindler et al., **PT-symmetric electronics**, *Journal of Physics A*, vol. 45, article 444029, 2012.

A. Kurs et al., **Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances**, *Science*, vol. 317, pp. 83-87, 2007.