

DE BANGKOK  
À VIENTIANE

# LE RAIL

A V R I L  
2 0 0 8  
N° 145

LE MAGAZINE INTERNATIONAL DE L'ACTUALITÉ FERROVIAIRE • THE INTERNATIONAL RAIL NEWS MAGAZINE

## Ile-de-France: coup de frein sur le bruit

### Sarko / Pepy: un attelage inédit

### Shanghai double la mise



M 02202 - 145 - F: 6,50 € - RD



LE RAIL AVRIL 2008 N° 145 6,50 €

# Et si les transports publics ne consommaient plus d'énergie?



Tapis microgénérateur d'électricité sur la ligne de péage de Marunouchi nord, à Tokyo, en 2006

Tirant parti des composants technologiques modernes, un tapis piézoélectrique est testé dans une station de Tokyo. Objectif: alimenter certains équipements en station sans consommer d'électricité! L'astuce: utiliser le passage des voyageurs pour produire l'énergie. Une piste qui semble très prometteuse

**E**N 2003, Kohei Hayami-  
zu, l'un de mes étudiants de 2<sup>e</sup> cycle, a développé pour son projet de fin d'études un circuit de production d'électricité en utilisant la voix humaine et un composant piézoélectrique. J'ai alors proposé une nouvelle idée de production d'électricité à Mutsu-  
saka, à l'époque président de JR East, qui s'affichait en pointe sur les questions écologiques. M. Ohtsuka a immédiatement confié à Mitsuki Kobayashi, de la filiale ingénierie des JR East, la responsabilité d'un projet de production d'électricité à mener en collaboration avec notre équipe de l'université Keio. Au lieu d'utiliser la voix humaine, notre idée était qu'une partie de l'énergie vibratoire dans l'univers ferroviaire pourrait être transformée en énergie électrique. A Tokyo, JR East est tristement réputée pour ses trains bondés de voyageurs. On pourrait donc utiliser l'énergie vibratoire créée par les banlieusards marchant sur le sol ou dans les escaliers. Pour passer à la phase expérimentale,



Yoshiyasu TAKEFUJI  
Professeur à la Faculté  
de l'Environnement  
et de l'Information,  
Université Keio, Tokyo

nous avons approché plusieurs entreprises afin de développer un nouvel équipement piézoélectrique qui puisse créer de l'électricité. Finalement, Koicho Shoji, PDG de SciencePark, a accepté de réaliser un tapis prototype pour la production d'électricité en utilisant les éléments piézoélectriques classiques (produits par Kyocera), des haut-parleurs bon marché. L'afficheur

donnant le rendement du tapis producteur d'électricité a été conçu par un docteur, Hiroshi Takenouchi.

En juillet 2006, nous avons expérimenté le tapis prototype sur site, au siège de JR East, à Shinjuku. Au vu des résultats, un tapis de "deuxième génération" a été expérimenté pendant deux mois (octobre-décembre 2006) dans une station de Tokyo, à la sortie nord de Marunouchi, le tapis étant installé au niveau de la ligne de péages. Pendant cette expérience, on a notamment évalué la durabilité du tapis et la détérioration des éléments piézoélectriques. Ce deuxième essai a eu

les honneurs des médias, avec des reportages sur toutes les télévisions et des articles dans les principaux journaux. Ensuite, tous les fabricants de matériel piézoélectrique se sont intéressés au projet. Le gouvernement japonais a officiellement demandé à JR East de soutenir le projet de tapis générateur d'électricité. Une troisième expérience a ainsi été cofinancée par NEDO, l'agence (publique) de l'innovation industrielle japonaise qui promeut les technologies propres et économes en énergie. Cette troisième expérience a eu lieu de nouveau à Tokyo, sur une surface totale de 90 m<sup>2</sup> de tapis actifs installés sur les marches d'escalier, devant un magasin et au niveau des péages. Pour la première fois, cette expérience a été menée avec un tapis intégrant des éléments piézoélectriques spécialement conçus pour produire de l'électricité. Il devait être 10 fois plus efficace que le tapis de la seconde expérience. Et il y a encore de la marge pour de nouvelles améliorations: en passant d'une monocouche de composants piézoélectriques à un tapis multicouches. La taille, l'épaisseur et la forme des éléments piézoélectriques peuvent également être travaillées pour améliorer les performances. Enfin,

la durabilité est également étudiée dans le cadre du projet.

### Principe du tapis générateur d'électricité

L'effet piézoélectrique a été découvert par Jacques et Pierre Curie en 1880. Quand une contrainte mécanique (une force) est appliquée à certains cristaux minéraux (quartz, tourmaline, topaze, sucre, sel), les cristaux se polarisent électriquement. L'effet inverse a été prédit l'année suivante par Lippmann, en utilisant des calculs thermodynamiques immédiatement vérifiés expérimentalement. L'effet piézoélectrique (du grec "piezo" qui signifie pression) se résume donc ainsi: quand on applique une force mécanique à certains cristaux, il apparaît une tension électrique et inversement, ces cristaux peuvent se déformer sous l'effet d'une tension électrique.

Une application très connue de cette propriété est l'allume-gaz qui utilise un matériau piézoélectrique pour créer une étincelle. En sens inverse, une application tout aussi courante est le haut-parleur piézoélectrique utilisé dans les téléphones mobiles ou les ordinateurs portables pour créer un son.

La céramique piézoélectrique est très utilisée dans des objets de tous les jours. Ces matériaux sont souvent désignés par l'abréviation PZT. L'élément piézoélectrique est en effet une solution solide de zirconate de plomb ( $PbZrO_3$ ) ferroélectrique et de titanate de plomb ( $PbTiO_3$ ) antiferroélectrique.

Le matériau piézoélectrique agit comme un transformateur d'énergie bidirectionnel (on dit "transducteur"): énergie mécanique vers électrique ou énergie électrique vers mécanique. La fig. 1 montre les modèles actuels de génération d'électricité (on parle de "microgénération") à partir de matériaux piézoélectriques: des ions neutralisés dans une céramique ferroélectrique non polarisée (a), ions déplacés par une compression mécanique (b), ions déplacés par une expansion mécanique (c). Qu'y voit-on? Les particules se comportent comme des dipôles électriques qui ont tendance à être alignés dans des régions microscopiques baptisées "domaines de

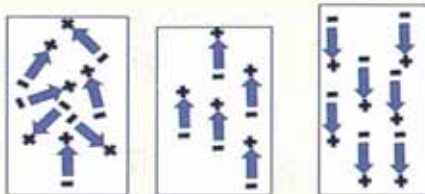


Fig. 1: Céramique ferroélectrique non polarisée et polarisée

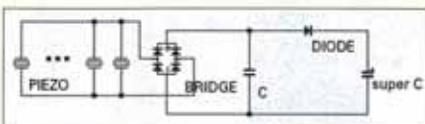


Fig. 2: Circuit à pont de diodes avec une supercapacité



Fig. 3: Circuit à convertisseur à transfert de charge

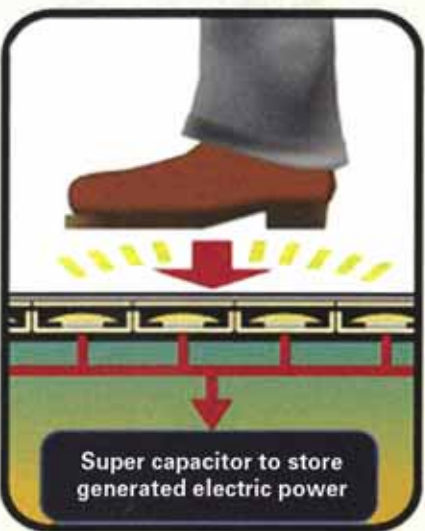


Fig. 4: Tapis microgénérateur d'électricité expérimenté en 2006. Chaque voyageur permettait de produire 0,1 watt.seconde à chaque péage.

Weiss". Dans chaque cristal, il y a plusieurs domaines de Weiss orientés de façon aléatoire. Lorsque le matériau piézoélectrique est comprimé par notre pied, ces domaines se réorientent: des charges électriques positives apparaissent en haut et des charges électriques négatives en bas. Lorsqu'on retire le pied, c'est l'inverse: des

charges négatives apparaissent en haut et des charges positives en bas. Pour l'instant, on ne sait pas comment construire les domaines de Weiss pour obtenir la meilleure production d'électricité.

Notre tapis microgénérateur utilise des éléments piézoélectriques en parallèle. Deux types de circuits permettent de stocker l'énergie électrique créée: un circuit à pont de diodes (fig. 2) ou un convertisseur à transfert de charge (fig. 3). L'énergie électrique créée est donnée par l'équation suivante:

énergie =  $C \cdot V^2 / 2$  (joule) où V est la tension aux bornes de la capacité C (farad).

En d'autres termes, 1 joule est équivalent à 1 watt.seconde. Par exemple, lorsque la capacité de 1 F est chargée et que la tension est de 4 V, l'énergie est de 8 watts.seconde.

### Où en est le projet?

L'expérimentation du tapis microgénérateur se poursuit sur la ligne de péage de Yaesu nord, à Tokyo, depuis le 19 janvier 2008 et pour une durée de deux mois. L'objectif de l'expérimentation actuelle est d'atteindre les 1 watt.seconde créés par voyageur et par péage (soit une puissance totale de 1 W). Cet objectif correspondrait à une multiplication par 10 du rendement obtenu en 2006.

La surface totale du tapis installé à Tokyo est de 90 m<sup>2</sup>, avec des éléments piézoélectriques spécialement fabriqués par Kyocera. L'électricité totale générée devrait atteindre 500 kW.s par jour. Les fig. 7 et 8 montrent le tapis microgénérateur installé sur des marches, aux péages et devant un magasin. Les résultats expérimentaux indiquent déjà que l'objectif (500 kW.s) a été atteint, sauf les samedis et dimanches. Il y a ainsi suffisamment d'énergie électrique créée pour alimenter les péages de la station. Dans un futur proche donc, les péages pourront être alimentés sans source d'énergie extérieure, uniquement grâce à la microgénération et au passage des nombreux voyageurs. C'est aujourd'hui l'objectif prioritaire du projet.

Mais l'énergie récupérée peut théoriquement servir à alimenter d'autres équipements. Par exemple les escaliers



Fig. 7: Tapis microgénérateur au passage des péages



Fig. 8: Tapis microgénérateur posé devant l'entrée d'une boutique du métro

mécaniques ou l'éclairage, comme on l'imaginait au lancement du projet (cette piste est pour l'instant écartée, faute de disposer d'un condensateur de capacité suffisamment importante pour stocker l'énergie). D'autres idées sont également à l'étude sur ce modèle, notamment la microgénération utilisant des composants à effet Peltier (thermoélectrique), ce qui permettrait une création de courant en continu et non discrète comme le tapis piézoélectrique.

Yoshiyasu TAKEFUJI ■

*Nous souhaitons remercier MM. Mutustake Ohtsuka, Mitsuaki Kobayashi, Koichiro Shoji, Hiroshi Takenouchi, Hiroshi Kayamori et Kiyoshi Eto pour leur aide dans la réalisation de ce projet.*

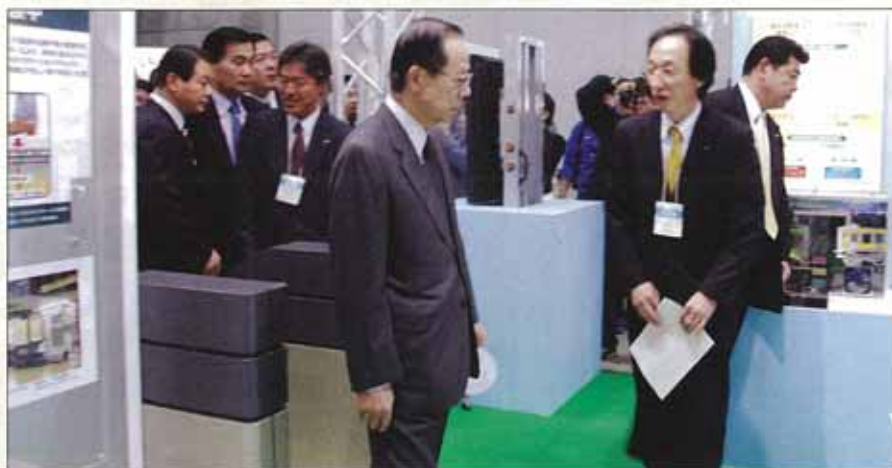


Fig. 6: Le Premier ministre Yasuo Fukuda visitant l'installation de microgénération au salon de l'Ecologie, en décembre 2007. A sa gauche, Mitsuaki Kobayashi (JR East)

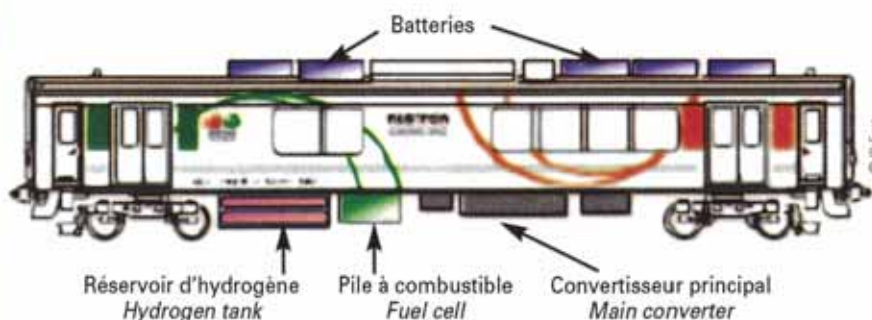
## Le "nouveau" New Energy Train



DÉJÀ en pointe sur la R&D ferroviaire avec l'autorail hybride New Energy Train ou NE Train (LR 126), JR East innove encore. L'autorail prototype a été testé pendant trois ans, de 2003 à 2006, dans une configuration hybride "classique", c'est-à-dire avec un moteur diesel et une batterie pour "lisser" la consommation d'énergie, permettre la récupération au freinage et favoriser le fonctionnement du moteur à son régime optimal (le moins polluant). Depuis l'été 2007, le NE Train a été rééquipé avec une pile à combustible en remplacement du moteur diesel. La partie électrique est inchangée, préservant

notamment la fonctionnalité de récupération au freinage. Le moteur diesel, lui, a été remplacé par un réservoir d'hydrogène et deux piles PEM (à membrane électrolyte polymère) d'une puissance de 65 kW chacune. L'autorail ainsi rééquipé peut atteindre 60 km/h et possède une autonomie de 60 km. Il a débuté ses essais sur un circuit de 40 km, à Kunitachi. Mais l'objectif de cette nouvelle étape est bien d'arriver à un prototype utilisable en service commercial. Les Japonais estiment en effet que la technologie est suffisamment mûre pour être utilisée dans le domaine ferroviaire. Les équipes de re-

cherche-développement de JR East ne sont d'ailleurs pas les seules à travailler sur un prototype d'autorail hybride: le RTRI, l'institut de recherche ferroviaire de Tokyo, marche sur leurs talons. Chacun peut compter sur le soutien des fournisseurs japonais, capables de réaliser des prototypes de batteries ou de supercapacités si nécessaire. La conscience environnementale, très développée au Japon, incite en effet à des recherches intensives sur tout ce qui peut être plus propre: énergies nouvelles, engins hybrides, réduction des émissions polluantes, composants moins nocifs. Le reste du monde suit évidemment ces avancées de près. Chez BNSF d'une part où la pile à combustible va aussi être mise à l'essai (voir page 29) mais aussi en France où l'on est encore plus réservé sur la question, même si la Recherche SNCF confie y travailler quand même. Pas dans l'optique d'un essai immédiat mais pour analyser la technologie sur la durée, le vieillissement des composants, les impératifs de maintenance. Les résultats expérimentaux obtenus au Japon seront donc précieux.



JFD