

Maglev : le nouveau moyen de transport pour le XXI^e siècle

Les inventeurs du premier système Maglev supraconducteur expliquent comment la lévitation magnétique peut révolutionner le transport mondial. Cet article est une adaptation d'une version anglaise plus complète publiée dans *21st Century* (Summer 2003).

**JAMES POWELL
GORDON DANBY**

Le Maglev est un moyen de transport entièrement nouveau, qui rejoindra le bateau, le véhicule à roues et l'avion comme mode majeur pour transporter des personnes ou des biens à travers le monde. Le Maglev a d' uniques avantages par rapport à ces modes de transports antérieurs et transforme-

ra radicalement la société et l'économie mondiale au XXI^e siècle. Si l'on compare le Maglev aux bateaux, aux véhicules à roues, tels que les voitures, les camions et les trains, il transporte les passagers et le fret à des vitesses bien supérieures, à un coût bien plus bas et en utilisant moins d'énergie. Comparé aux avions, qui

A propos des auteurs

Le Pr. James Powell et le Pr. Gordon Dandy ont inventé le Maglev supraconducteur en 1966 et ils sont les détenteurs des premiers brevets dans ce domaine. Le concept original du Maglev est actuellement en service au Japon.

Le Pr. Powell a été maître de recherches au Laboratoire national de Brookhaven, où il a dirigé les recherches sur les réacteurs de fission et de fusion entre 1956 et 1996. Il est l'inventeur de la fusée ultralégère Particle Bed Nuclear Rocket, qui sert de base pour les programmes de l'Initiative de défense stratégique (IDS) du ministère de la Défense sur la propulsion nucléaire spatiale dans les années 80 et 90. En plus du Maglev, il est actuellement impliqué dans la propulsion nucléaire spatiale et les systèmes d'alimentation pour l'exploration spatiale ainsi que le développement de méthodes à faibles coûts pour vitrifier les déchets à haute radioactivité.

Le Pr. Dandy a été maître de recherches au Laboratoire national de Brookhaven, où il a dirigé la recherche sur les aimants supraconducteurs et les accélérateurs de particules à haute énergie entre 1957 et sa retraite, en 1999. Il est l'inventeur des aimants supraconducteurs en aluminium stabilisé et un pionnier dans le développement des systèmes IRM (Imagerie par résonance magnétique) pour les diagnostics médicaux. En plus du Maglev, il est impliqué dans le développement des scanners IRM de nouvelle génération.

Powell et Dandy ont reçu la médaille Franklin pour l'ingénierie pour leur invention du Maglev en avril 2000 (des lauréats précédents ont été Nikolai Tesla et Charles Steinmetz). La Maglev-2000 Corporation de Floride permet de développer leur système de Maglev de deuxième génération pour transporter les passagers et les semi-remorques.

De plus amples détails sur la technologie du Maglev-2000 et ses applications pour le lancement de navette dans l'espace, le système Startram, ou le transport d'eau potable et l'exploration minière peuvent être trouvés sur le site www.maglev2000.com.



voyagent à une vitesse similaire, le Maglev transporte les passagers et le fret à un coût bien inférieur et dans des quantités bien plus importantes. En plus de son impact sur le transport, le Maglev permettra de déplacer de grande quantité d'eau sur de longues distances afin de lutter contre les sécheresses.

Dans le système Maglev, contraction de « magnetic levitation », les véhicules à grandes vitesses sont soulevés par la répulsion magnétique et propulsés grâce à de puissants aimants attachés au véhicule le long d'un rail de guidage surélevé. Les véhicules n'entrent pas physiquement en contact avec le rail de guidage, ils ne nécessitent pas de moteur et ne consomment pas de carburant car ce sont des courants électriques qui alimentent les bobines situées dans le rail de guidage.

Le Maglev est important pour quatre raisons :

1. Le Maglev est meilleur pour transporter les personnes et le fret que les modes existants. Il est moins cher, non engorgé et a une bien meilleure espérance de vie. Un rail de guidage de Maglev peut servir à transporter plusieurs dizaines de milliers de passagers par jour ainsi que des milliers de semi-remorques et d'automobiles. Les coûts d'utilisation du Maglev ne seront que de 0,03 dollar par passager par kilomètre et 0,07s dollar par ton-

ne par kilomètre, comparé aux 0,15 dollar par passager par kilomètre pour les avions, et 0,30 dollar par tonnes par kilomètre pour les trajets interurbains en camions. La longévité des rails de guidage du Maglev seront de cinquante ans ou davantage avec une maintenance minimale, car il n'y a pas de contact physique ni d'usure et parce que la charge des véhicules est répartie uniformément au lieu d'être concentrée dans les roues. Pour la même raison, les Maglevs auront une plus grande durée de vie que les voitures, les camions ou les avions.

2. Le Maglev a un bon rendement en termes énergétiques. Contrairement aux automobiles, aux camions et aux avions, le Maglev ne consomme pas de pétrole mais de l'électricité qui peut-être produite par le charbon, le nucléaire, les barrages, la fusion, le vent ou même les centrales solaires (la source la plus efficace étant bien sûr le nucléaire). A 480 km/h à l'air libre, le Maglev consomme 0,25 mégajoule par passager par kilomètre, comparé aux 2,5 mégajoules pour une voiture consommant 12 l d'essence aux 100 km et transportant 1,8 passager (la moyenne nationale) à 90 km/h. A 240 km/h à l'air libre, le Maglev consomme 0,06 mégajoule par passager par kilomètre, ce qui représente que 2 % de la consommation d'une voiture roulant à 90 km/h. Dans des tunnels sous vide, comme ceux

proposés pour le Swissmetro, la consommation d'énergie diminuerait jusqu'à l'équivalent de 0,023 l aux 100 km.

3. Les véhicules du Maglev n'émettent aucune pollution. Lorsqu'ils consomment l'électricité, ils n'émettent aucune molécule de dioxyde de carbone. Même si l'on utilise l'électricité produite à partir de charbon ou de gaz naturel, les émissions de CO₂ résultantes sont bien moindres que celles engendrées par les automobiles, les camions et les avions, car le Maglev a un très bon rendement énergétique. Le Maglev présente d'autres avantages environnementaux. Il est bien plus silencieux que les voitures, les camions et les avions, ce qui est particulièrement important pour les zones urbaines et suburbaines. De plus, comme il utilise des rails de guidage formés de poutres étroites et surélevées, son impact environnemental est plus faible que celui des autoroutes, des aéroports ou des voies de chemin de fer.

4. Le Maglev a de nombreux avantages sur les véhicules roulant sur routes, sur les trains et les avions. La distance séparant les Maglevs sur un rail de guidage ainsi que leur vitesse sont automatiquement contrôlées et maintenues grâce à la fréquence de la puissance électrique alimentant le rail de guidage. Il n'y a pas de possibilité de collision entre les véhicules

sur le rail de guidage. De plus, comme les rails de guidage sont élevés, il n'y a pas de possibilité de collision avec des automobiles ou des camions sur des passages à niveaux.

Comment fonctionne le Maglev

À l'aube du XX^e siècle, on rêvait déjà du Maglev. Emile Bachelet (1863-1946) a proposé que l'on soulève par lévitation magnétique des trains en disposant des boucles de courant alternatif (CA) au-dessus de plaques de métal conducteur, comme l'aluminium, posées sur le sol. On développa d'autres modèles avec des aimants électromagnétiques et des aimants permanents conventionnels. Cependant, toutes ces propositions étaient irréalisables. La consommation d'énergie était trop importante ou la suspension était instable, ou encore la charge pouvant être soulevée était trop petite.

Le premier système Maglev réalisable fut proposé et publié par nos propres soins en 1966.¹ Il était constitué d'un véhicule équipé d'aimants supraconducteurs de faible poids qui induisaient des courants dans une série de boucles d'aluminium ordinaire, montées sur un rail de guidage. Ces courants induits interagissaient avec les aimants supraconducteurs du véhicule, le mettant ainsi en lévitation au-dessus du rail de guidage. Le véhicule en lévitation est stable de manière inhérente et passive vis-à-vis de toutes les forces externes, y compris les forces du vent latéral et les forces centrifuges dans les courbes. Si un vent latéral essayait de pousser le véhicule sur le côté, une force magnétique opposée est immédiatement produite, maintenant le véhicule sur son rail de guidage. Si le véhicule est poussé vers le rail de guidage, la force de lévitation augmente automatiquement, empêchant tout contact. Si une force extérieure soulève le véhicule hors du rail de guidage, la force de lévitation décroît et le véhicule retombe à sa hauteur d'équilibre de suspension.

Le processus de lévitation est automatique tant que le véhicule se déplace à une vitesse au-dessus du seuil de décollage. En dessous de cette limite, se situant entre 30 et 80 km/h

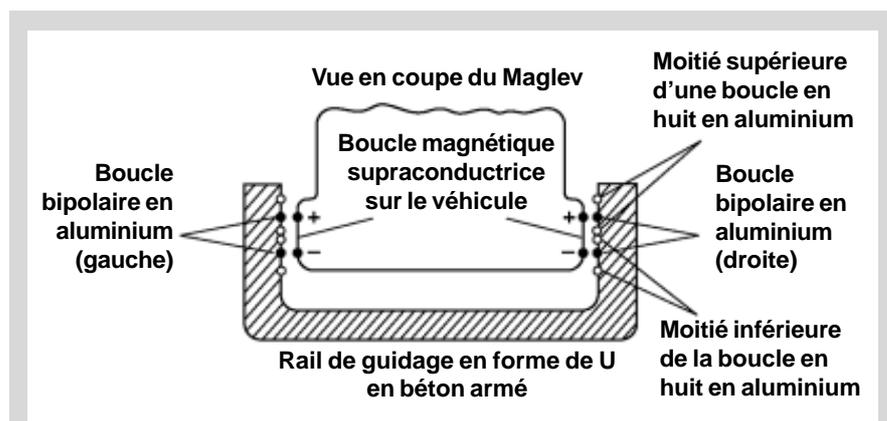


Figure 1. Schéma d'un véhicule de Maglev dans un rail de guidage en forme de U. Dans ce système de Maglev, similaire à celui du Japon, le véhicule a des boucles supraconductrices (environ 600 kiloampères tour). Le rail de guidage a des enroulements en aluminium à une température normale ; un courant électrique est induit dans la boucle quand l'enroulement du véhicule passe devant elles. Les courants induits dans les boucles en forme de huit du rail de guidage stabilisent verticalement le véhicule et le font entrer en lévitation. Les boucles bipolaires gauches et droites du rail de guidage sont reliées électriquement pour former un circuit. Le flux net et le courant dans le circuit sont nuls quand le véhicule est centré dans le rail de guidage. Si le véhicule se déplace vers la gauche par rapport au centre, les forces magnétiques le ramènent vers le centre.

selon la conception, la résistance électrique donnée par la boucle d'aluminium du rail de guidage fait décroître les courants induits au point où les forces magnétiques sont trop faibles pour mettre en lévitation le véhicule. À faible vitesse, le véhicule repose sur des roues auxiliaires ou en alimentant localement le rail de guidage. Ces sections à basses vitesses du rail de guidage sont très courtes et ne sont nécessaires uniquement que quand on accélère pour sortir de la gare ou ralentir pour y entrer.

Notre article de 1966 avait suscité un énorme intérêt dans de nombreux pays. Il était évident que les aimants supraconducteurs rendaient possible la réalisation d'un Maglev. En bref, les aimants supraconducteurs sont extrêmement puissants et allègent les aimants permanents. Comme ils ont une résistance électrique nulle, leur consommation électrique est nulle, même lorsqu'ils sont traversés par des courants de plusieurs centaines de milliers d'ampères, mise à part la faible puissance nécessaire pour maintenir le supraconducteur à une température cryogénique.

Après notre publication en 1966, des programmes de Maglevs furent lancés aux Etats-Unis, au Japon, en Allemagne et dans d'autres pays. Mal-

heureusement le Maglev américain s'arrêta au début des années 70 (même s'il a recommencé depuis), quand le ministère des Transports décida que les trains à grande vitesse n'étaient pas nécessaires aux Etats-Unis car les voitures, camions et avions devraient suffire pour un avenir indéterminé.

D'importants programmes de développement continuèrent néanmoins au Japon et en Allemagne. Le Japon s'est concentré sur le Maglev supraconducteur et dispose d'un système de Maglevs commercialement opérationnel pour des passagers, conçu selon le modèle de notre invention originale. La compagnie des transports ferroviaires japonaise fait fonctionner des véhicules de Maglev à des vitesses de 560 km/h sur un rail de guidage long de 20 km dans la préfecture de Yamanashi. Le Maglev fonctionne à l'air libre et traverse de longs tunnels, à la fois avec un véhicule isolé ou avec cinq véhicules reliés ensemble.

Les caractéristiques fondamentales du Maglev supraconducteur sont présentées dans la **figure 1** pour un rail de guidage en forme de U, similaire à celui utilisé au Japon. Le groupe de boucles passives en aluminium et à flux nul disposé sur les parois latéra-

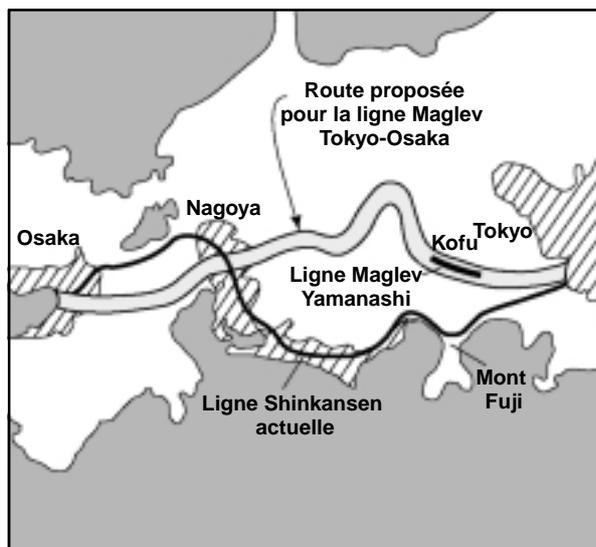


Figure 2. A gauche, illustration d'un véhicule Maglev japonais sur le rail de guidage de Yamanashi. A droite, la ligne grise représente le tracé de la ligne de Maglev de 500 km envisagée entre Tokyo et Osaka. La ligne noire représente la ligne de chemin de fer actuelle. La ligne Maglev Yamanashi existante se trouve près de Kofu.

les du rail de guidage font entrer en lévitation et stabilisent le véhicule en déplacement. La voiture est propulsée par effet magnétique par un deuxième ensemble de boucles dans la paroi, appelé « moteur linéaire synchrone » (MLS). L'enroulement du MLS est relié à une ligne d'alimentation commandée par un interrupteur électronique. L'enroulement du MLS, lorsqu'il est traversé par un CA, pousse les boucles supraconductrices attachées à la voiture, propulsant le véhicule le long du rail de guidage.

La propulsion MLS agit comme dans un moteur à rotor synchrone conventionnel, sauf que là il est linéaire au lieu d'être cylindrique. Le moteur propulse le Maglev à une vitesse constante qui est déterminée par la fréquence du CA dans l'enroulement du MLS, et cela indifféremment du

fait qu'il y ait du vent contraire ou favorable, que la voiture monte une pente ou la descende. L'écartement entre les voitures reste toujours le même, rendant les collisions impossibles. La propulsion par le MLS est très efficace, plus de 90 % de la puissance électrique alimentant l'enroulement de MLS est convertie en poussée aux véhicules.

La compagnie japonaise envisage une ligne de Maglev de 500 km entre Tokyo et Osaka, pour transporter 100 000 passagers par jour en une demi-heure (**figure 2**). Plus de 60 % de la voie serait constituée de longs tunnels sous les montagnes dans le centre du Japon. La route suggérée permettrait d'ouvrir au développement cette région pour l'instant faiblement peuplée. Le Japon a dépensé plus de 2 milliards de dollars pour

développer un système de Maglevs et les véhicules de la compagnie japonaise ont accumulé plus de 200 000 km d'utilisation sur le rail de guidage, transportant des dizaines de milliers de passagers.

Le Transrapid allemand

L'Allemagne a suivi une voie différente du Maglev. Au lieu d'utiliser des aimants supraconducteurs, le système du Transrapid allemand utilise des aimants électromagnétiques conventionnels fonctionnant à température ambiante sur ces véhicules. La photo ci-contre montre comment les électroaimants sont soulevés vers les bords des rails de guidage, constitués par des poutres d'acier en forme de T, fournissant la force magnétique nécessaire pour mettre en lévitation le véhicule. Néanmoins, la force de lévitation magnétique du Transrapid est intrinsèquement instable alors que celle du Maglev supraconducteur est de manière inhérente stable. Dans le cas du Maglev supraconducteur, plus le véhicule se rapproche du rail de guidage, plus la force de répulsion magnétique devient grande, repoussant automatiquement le véhicule du rail de guidage. Dans le cas du Maglev électromagnétique, plus le véhicule se rapproche du rail de guidage, plus la force électromagnétique d'attraction devient grande, attirant auto-



Le système allemand Transrapid. Le rail de guidage, est constitué par des poutres d'acier en forme de T.

matiquement le véhicule vers le rail de guidage. Pour empêcher les voitures lancées à grande vitesse d'être soulevées et d'entrer en contact avec le rail de guidage, le Transrapid utilise un système d'asservissement automatique qui ajuste le courant magnétique en continu, sur une fréquence d'un millième de seconde, pour maintenir un espace de sécurité entre les électroaimants du véhicule et l'acier du rail de guidage.

Etant donné que les électroaimants consomment d'importantes quantités d'électricité pour générer les champs magnétiques, l'espace entre les aimants du véhicule du Transrapid et le rail de guidage doit être petit, de l'ordre de 0,8 cm. En comparaison, les véhicules utilisant des aimants supraconducteurs sont distants du rail de guidage de 10 cm ou plus. Les véhicules du Transrapid ont engrangé des centaines de milliers de kilomètres sur leur voie d'essai à Emsland en Allemagne et ont transporté en douceur et en sécurité des milliers de passagers à des vitesses allant jusqu'à 450 km/h. Le premier système commercial de Transrapid au monde a été inauguré récemment à Shanghai en Chine. La ligne de Transrapid, longue de 30 km, transporte les passagers du centre de Shanghai à l'aéroport.

De notre point de vue, les systèmes de Maglev supraconducteurs sont supérieurs aux systèmes à aimants permanents ou à aimants électromagnétiques. Le plus grand espacement des systèmes supraconducteurs augmente considérablement la sécurité et diminue les problèmes d'enneigement et de congère dans les régions les plus froides. Un espacement plus important autorise également des tolérances plus grandes pour la construction, réduisant ainsi significativement le coût du rail de guidage. De plus, le système de Maglev supraconducteurs peut transporter des poids lourds et du fret tout aussi bien que des passagers, et son potentiel de revenus en est d'autant amélioré. Enfin, la très forte stabilité inhérente des systèmes de Maglev supraconducteurs permet de garantir un fonctionnement sûr à tout moment.

Le développement des systèmes de première génération par les Japonais et les Allemands a été obéré par le coût élevé de la construction du rail de guidage, entre 25 et 40 millions de dollars par kilomètre. Si l'on envisage

un flux de 30 000 passagers, chiffre élevé pour les Etats Unis, un coût de 30 millions de dollars par kilomètre pour construire la voie de Maglev, avec un revenu de 0,10 dollar par passager par kilomètre (revenus des tickets diminués des frais de fonctionnement et de maintenance), il faudrait cinquante ans pour rembourser le coût de l'investissement.

Les autoroutes et les systèmes de transports aériens ont été généreusement subventionnés et continuent de l'être par le gouvernement américain. En réalité, l'investissement par le gouvernement dans des modes de transport plus efficaces augmente la productivité de toute l'économie et se rembourse ainsi lui-même par la richesse économique ajoutée. Toutefois, considérant les énormes déficits budgétaires, l'économie déclinante et une pensée économique encore plus déclinante, il est peu probable qu'un nouveau mode de transport tel que le Maglev puisse voir le jour avec les gouvernements actuels, à moins qu'il ne puisse être amorti dans un intervalle de quelques années. De plus, si les systèmes de Maglev peuvent être amortis en un court laps de temps, ils attireront les capitaux privés.

Pour obtenir un retour sur investissements rapide, nous sommes en train de développer un système de Maglevs supraconducteurs de deuxième génération qui sera bien moins onéreux à construire et qui engendrera des revenus bien plus importants en transportant des semi-remorques et des automobiles. Ce système de deuxième génération est décrit ci-dessous. Grâce au financement du ministère des Transports du gouvernement fédéral ainsi que de l'Etat de Floride, les essais initiaux pour la lévitation vont pouvoir être effectués cette année à notre centre d'essai Maglev-2000, en Floride.

Transporter les personnes et le fret

Le Maglev-2000 de deuxième génération présente quatre innovations principales par rapport aux systèmes japonais et allemands de première génération :

- des coûts de construction du rail de guidage plus faibles – 7 millions de dollars par kilomètre – comparés aux

25 à 40 millions de dollars par kilomètre ;

- des durées d'amortissements raccourcies – cinq années au lieu de cinquante – en faisant du ferroutage de semi-remorques ;

- des véhicules à grande vitesse pouvant être aiguillés électroniquement du rail de guidage principal vers des voies secondaires équipées de gares de chargement et de déchargement ;

- la capacité pour des véhicules Maglev d'utiliser les voies de chemin de fer conventionnelles.

Trois inventions essentielles rendent possibles ces innovations du Maglev-2000 :

- des éléments préfabriqués de rail et de piliers à faibles coûts ;

- des aimants quadripôles (avec deux paires de couple nord-sud à angle droit les uns par rapports aux autres), qui autorisent les véhicules à utiliser des poutres étroites ou bien des rails de guidage plans, permettant de passer facilement de l'un à l'autre ;

- des aiguillages électroniques qui mènent les véhicules du rail de guidage principal vers des voies secondaires sans aucun mouvement mécanique sur la structure du rail de guidage.

On peut voir sur la **figure 3** un véhicule Maglev-2000 sur un rail de guidage étroit. Les poutres conventionnelles du rail de guidage, préfabriquées en béton précontraint avec leurs plaques d'enroulement en aluminium attachées, sont produites en grandes quantités et à bas coût dans une usine. Les poutres ainsi que les piliers préfabriqués sont ensuite amenés de l'usine par camions ou par rail jusqu'au site de construction du Maglev. La seule construction sur site est le pied de béton, coulé dans le sol pour fixer le pilier. Les grues installent à leur emplacement les piliers et les poutres, permettant ainsi au rail de guidage d'être érigé en quelques semaines. Les poutres et les piliers peuvent également être transportés sur les portions achevées du rail de guidage jusque vers le site de construction, évitant ainsi de le transporter par route ou par rail. Le coût projeté est de 7 millions de dollars par kilomètre pour le rail de guidage étroit et surélevé du Maglev-2000. Ce coût est estimé sur la base de notre expérience de fabrication pour des éléments de grandeur réelle du rail de guidage, y compris la poutre. Le coût

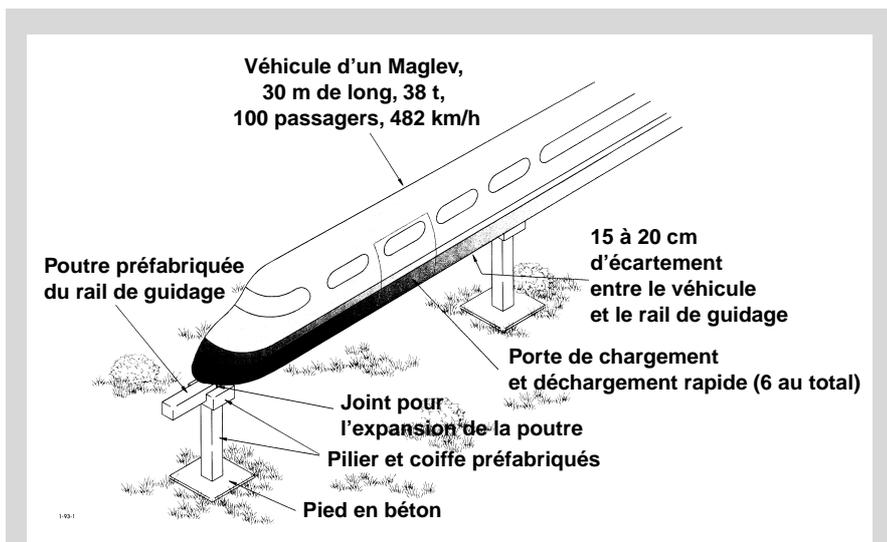


Figure 3. Les paramètres du véhicule du Maglev-2000 .

projeté n'inclut pas l'achat des terrains ou les modifications des infrastructures existantes.

Le Maglev est en général présenté comme un train à grande vitesse pour les trafics passagers interurbains ou comme un système moins rapide pour les trajets urbains. Ces applications sont importantes. Toutefois, le grand marché réside dans le fret par camion entre villes américaines. Les Etats-Unis dépensent actuellement plus de 300 milliards de dollars par an pour le trafic interurbain par camion, comparé aux seuls 65 milliards de dollars pour le trafic aérien des pas-

sagers. La principale voie de trafic aérien est celle allant et partant de Los Angeles à New York, transportant chaque jour environ 10 000 passagers. De nombreuses autoroutes inter-Etats sont empruntées par plus de 15 000 camions par jour, certaines allant même jusqu'à 25 000 camions par jour. Une voie de Maglev transportant 2 000 camions par jour – 20 % ou moins du trafic quotidien – rapporterait autant qu'une ligne aérienne qui transporterait 100 000 passagers par jour, ce qui représente au moins dix fois plus que le plus important marché de passagers aérien dans tous

les Etats-Unis.

La distance moyenne de remorquage pour les semi-remorques entre villes est de plus de 650 km et nombreux sont ceux parcourant plus de 1 500 km. En utilisant le Maglev, les routiers peuvent remplir leur camion et conduire quelques kilomètres jusqu'à la gare de chargement la plus proche. Le semi-remorque serait alors chargé dans un véhicule du Maglev (figure 4), ce qui ne nécessiterait que quelques minutes. A 482 km/h, le semi-remorque peut traverser les Etats-Unis de la Californie à New York en quelques heures, au lieu de plusieurs jours par autoroute. Une fois arrivé à la gare proche de sa destination, le semi-remorque peut-être déchargé et conduit jusque chez le client. Tout le monde bénéficierait d'un tel système : l'expéditeur payerait moins pour son transport et pourrait réduire ses stocks avec des livraisons juste à temps, la compagnie de transport ferait davantage de profits et réduirait l'usure de sa flotte de camions, les routiers ne passeraient plus de longues heures fatigantes sur les routes.

La figure 5 présente les avantages économiques pour le Maglev de transporter à la fois des passagers et du fret. Même à 6 millions de dollars par kilomètre pour le rail de guidage du Maglev-2000 – coût bien inférieur aux 25 à 30 millions de dollars par kilomètre pour les systèmes allemands et japonais –, amortir le rail de guidage prend trente ans. Or, en transportant 2 500 semi-remorques quotidiennement – seulement 20 % du trafic routier entre New York City et Chicago –, la période d'amortissement tombe à seulement trois ans. Des périodes très courtes d'amortissement permettra d'attirer d'importants investissements privés, favorisant ainsi la mise en œuvre du Maglev.

Un aiguillage unique à grande vitesse

En plus de son attrait économique, le Maglev doit être facilement intégrable avec les autres modes de transport. Le Maglev-2000 est unique par sa capacité d'aiguiller électroniquement les véhicules à grande vitesse d'un rail de guidage vers un autre, sans avoir à ralentir les trains et à dé-

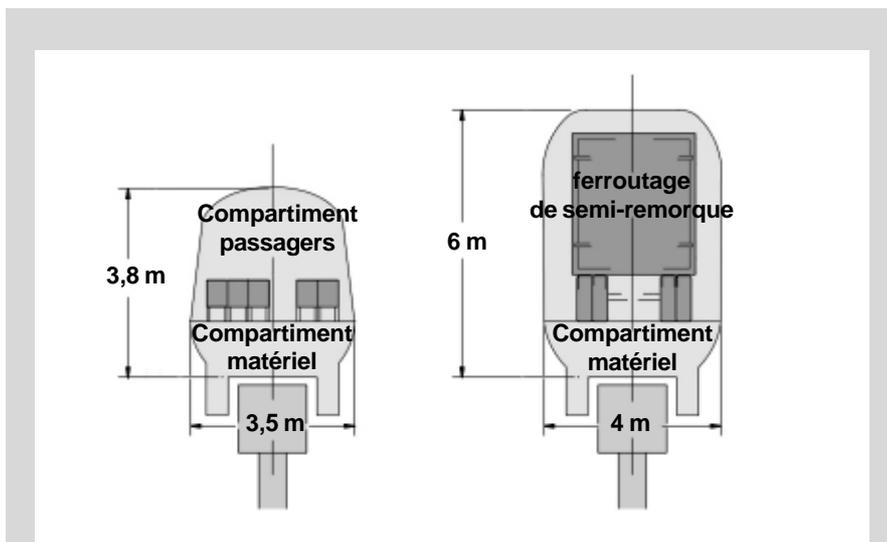


Figure 4. Un véhicule de passagers et un véhicule de fret sur un rail de guidage du Maglev 2000. Le schéma indique la taille relative et la configuration d'un Maglev 2000 pour passagers et pour fret.

placer mécaniquement des sections du rail de guidage, comme dans le cas des systèmes allemand et japonais. Les aimants supraconducteurs quadripolaires du Maglev-2000 permettent aux véhicules de passer d'un guide en poutre étroite à un guide plan (figure 6). La plupart du temps, les véhicules empruntent le rail de guidage peu coûteux, en forme de poutre étroite, où les côtés du quadripôle interagissent par effet magnétique avec les boucles d'aluminium lesquelles sont attachées sur les côtés de la poutre pour soulever et stabiliser automatiquement le véhicule. Sur des endroits où le véhicule aurait besoin de changer de voie, il passe sur un rail de guidage plan, où le bas du quadripôle interagit par effet magnétique avec les boucles aluminium sur le rail de guidage en dessous, soulevant et stabilisant le véhicule.

Passant sur les zones d'aiguillages, le véhicule peut soit continuer sur le rail de guidage principal, soit changer électroniquement, à pleine vitesse, vers un rail de guidage secondaire menant à une voie de délestage. La section de transfert contient deux lignes d'enroulement d'aluminium. Le véhicule peut soit continuer sur le rail de guidage principal, soit être aiguillé vers un rail secondaire, selon l'enroulement qui est activé quand le véhicule pénètre dans la section d'aiguillage. Dans ce deuxième cas, le véhicule ralentit sur le deuxième rail de guidage et s'arrête à la gare pour laisser descendre les passagers, un camion ou encore en charger un autre. Il accélère ensuite pour sortir de la gare sur le rail secondaire et rejoindre le

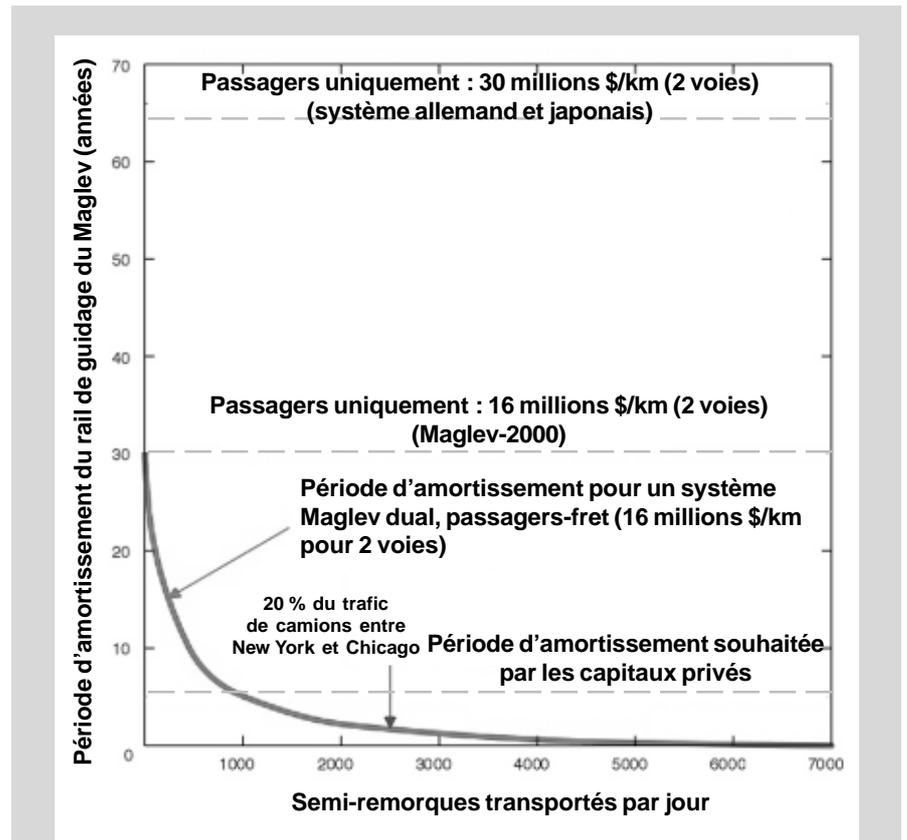


Figure 5. Les avantages économiques du Maglev transportant à la fois des passagers et des camions. La figure indique le temps qu'il faudrait pour amortir le coût du rail de guidage dans le cas d'un transport uniquement de passagers et dans le cas d'un système dual passagers-fret. Les conditions de calcul sont de 3 millions de passagers par an à 0,1 dollar par passager par kilomètre de revenu net, et 0,2 dollar par tonne-kilomètre de revenu avec 2 t par semi-remorque.

rail principal à pleine vitesse.

Les systèmes Maglev-2000 peuvent ainsi desservir de nombreuses gares dans une région urbaine ou suburbaine, sans sacrifier la grande vitesse et

la courte distance des trajets. Les usagers embarqueraient à bord d'un véhicule Maglev à une gare de proximité et voyageraient à pleine vitesse vers une gare proche de leur destination,

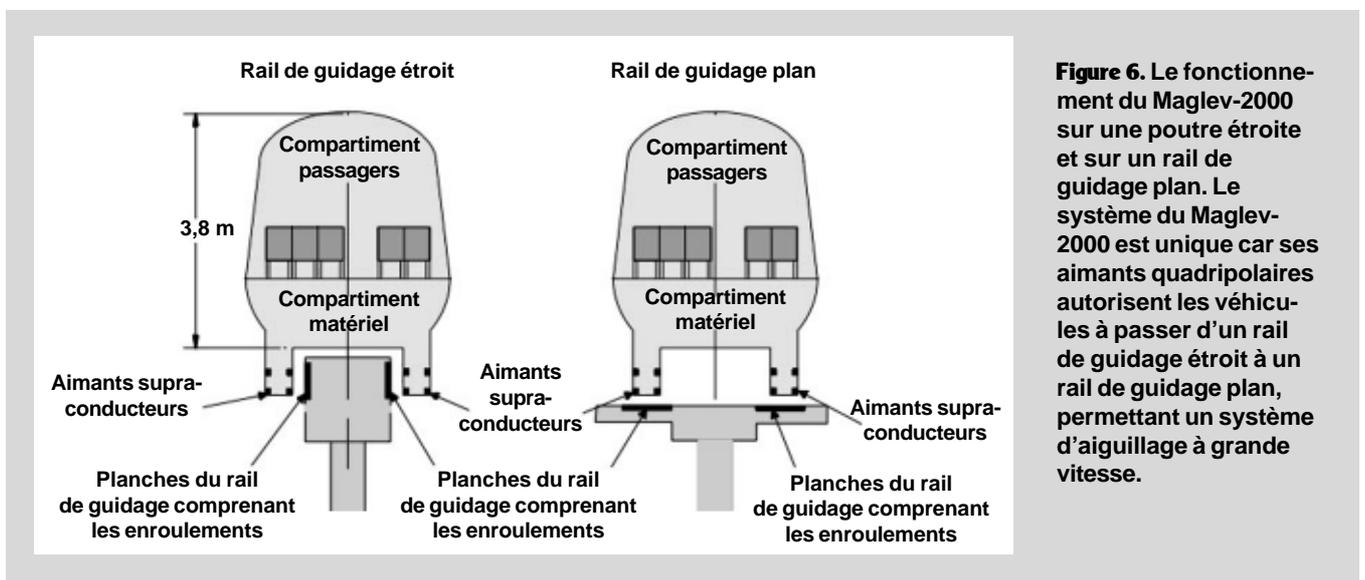


Figure 6. Le fonctionnement du Maglev-2000 sur une poutre étroite et sur un rail de guidage plan. Le système du Maglev-2000 est unique car ses aimants quadripolaires autorisent les véhicules à passer d'un rail de guidage étroit à un rail de guidage plan, permettant un système d'aiguillage à grande vitesse.

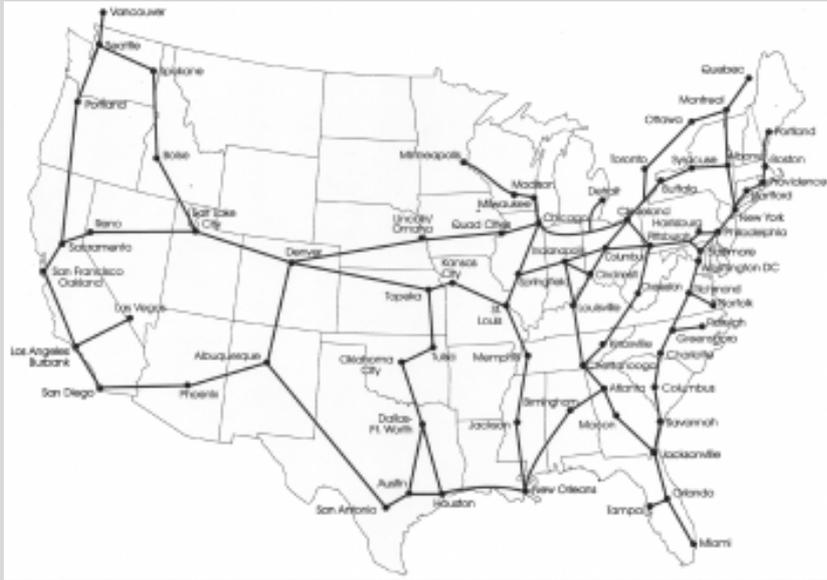


Figure 7. Réseau national du Maglev proposé par la Maglev-2000 Corporation of Florida. Ce réseau, long de 25 000 km, desservirait 90 % de la population américaine et permettrait aux voyageurs d'atteindre n'importe quelle grande ville en quelques heures.

sans s'arrêter aux gares intermédiaires. Contrairement aux aéroports, limités à un ou deux emplacements dans une région urbaine ou suburbaine donnée, rendant ainsi les accès difficiles et représentant une perte de temps, le Maglev peut disposer d'une dizaine ou d'une vingtaine de gares, ou plus encore, selon la région.

Un réseau national de Maglev

Afin que le Maglev devienne un mode de transport majeur, il doit non seulement être facile d'accès mais également fonctionner au sein d'un réseau intégré et interconnecté. Un Maglev isolé, reliant un point à un autre, peut bien sûr être utile, mais ne correspond pas aux besoins énormes de capacité de transport au XXI^e siècle. La **figure 7** présente le réseau national du Maglev proposé par notre société Maglev-2000 Corporation of Florida. Le réseau de 25 000 km, qui serait construit sur les voies de passage le long des autoroutes inter-Etats des Etats-Unis, desservirait 90 % de la population. Chacune des régions métropolitaines mentionnées sur la carte auraient de multiples gares, comme nous l'avons mentionné

ci-dessus, ce qui permettrait à 70 % des Américains de vivre à moins de 25 km d'une gare de Maglev. Les passagers pourraient atteindre n'importe quelle destination aux Etats-Unis, ainsi que les grandes villes au Canada, quelques heures seulement après avoir quitté leur domicile. Les camions pourraient, quant à eux, traverser le continent en moins de dix heures.

Voyager par Maglev serait bien plus confortable que par avion. Il n'y aurait pas de bruit ni de vibrations, pas de turbulences, et tous les passagers pourraient voyager confortablement, avec un confort digne d'une classe affaire. Les véhicules de Maglev coûteront moins que les avions et n'auront pas de restrictions d'espace : il n'y aura donc aucune nécessité d'entasser les passagers ensemble pour maximiser le chargement. Comme les coûts seront plus faibles que pour le transport aérien, l'espace par passager sera plus grand, permettant aussi des horaires plus fréquents et plus agréables. Au lieu de deux voyages par jour pour une destination donnée, il y aurait des départs de Maglev chaque heure, voire plus.

Le coût de la construction du réseau national de Maglev-2000 est estimé à 200 milliards de dollars. Même s'il s'agit d'une somme conséquente, elle est équivalente à seulement deux

mois de la facture des transports américains d'un montant annuel de 1 200 milliards de dollars, dont 1 000 milliards de dollars sont attribués aux transports routiers. Les économies de transport générées par le réseau national de Maglev pourraient dépasser les 100 milliards de dollars par année, amortissant le réseau en seulement quelques années. Contrairement aux autoroutes, aux automobiles, aux camions ou aux avions, le rail de guidage et les véhicules ne subissent pas d'usure, il ne nécessite presque pas d'entretien et pourrait durer au moins cinquante ans.

La Maglev-2000 Corporation suggère de construire le premier système de Maglevs en Floride. Il s'agirait d'une voie de 30 km qui relierait Port Canaveral Seaport et le Space Coast Regional Aéroport de Titusville, avec une gare intermédiaire au Kennedy Space Port. La ligne de Maglev-2000 pourrait transporter des passagers partant en croisière vers le port maritime et les visiteurs du centre spatial Kennedy. Cette ligne permettrait aussi de tester le transport de camions et de fret en partance et à destination du port maritime. Une fois en opération, la ligne Maglev-2000 servirait de démonstration convaincante de la nécessité et de la faisabilité du transport par Maglev, et aiderait à amorcer la construction de lignes de Maglev dans d'autres endroits des Etats-Unis et ailleurs. Avec un effort soutenu de construction, le réseau national du Maglev pourrait être en pleine action avant 2020.

Le grand pont terrestre transsibérien

L'économie mondiale croissante nécessite le déplacement de plus grandes quantités de biens et de personnes sur de longues distances. En particulier en Chine, en Inde et dans d'autres pays asiatiques en développement rapide, où vit la plus grande partie de la population mondiale, nous avons besoin d'un système de transport moderne, efficace et peu onéreux qui relie l'Europe, l'Amérique et le reste du monde. Bien que la plupart des passagers voyagent aujourd'hui par avion, presque tous les biens sont transportés par bateaux. Il y a des désavantages pour le

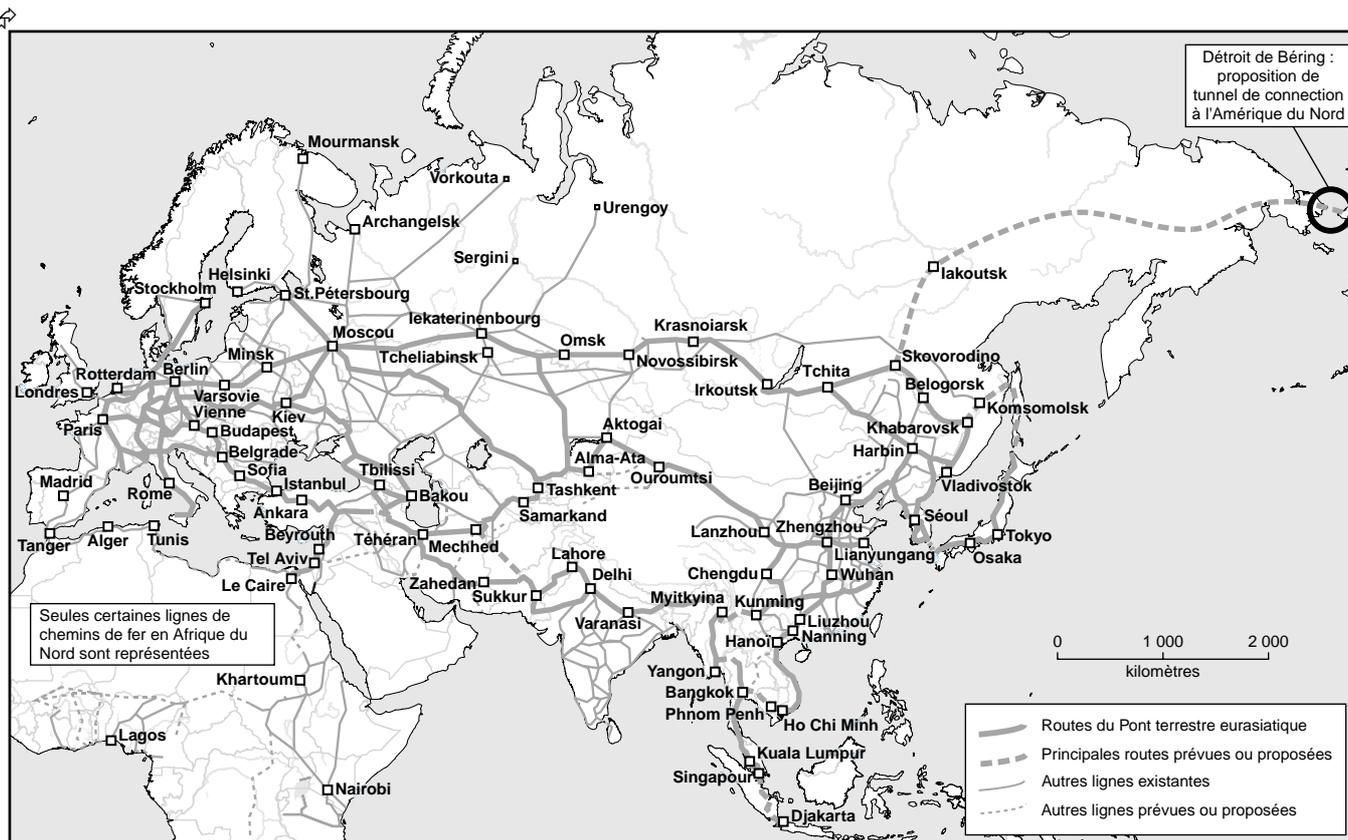


Figure 8. Le réseau du Pont terrestre eurasiatique.

transport maritime vers l'Asie : les distances sont grandes et les temps de trajets très longs, les coûts de navigation sont élevés et les bateaux consomment une grande partie de la production mondiale de pétrole.

Par exemple, la distance de navigation entre le Japon et l'Europe est de 20 000 km en passant par le canal de Suez (30 000 km en passant par le cap de Bonne-Espérance) et le trajet nécessite plusieurs semaines. Avec 0,01 dollar par tonne au kilomètre, le coût de la navigation de l'Asie vers l'Europe est de 100 dollars, ou plus, par tonne de marchandise. La navigation mondiale consomme actuellement 7 % de la production mondiale de pétrole, soit une partie significative des ressources mondiales. Pour la plupart des transports de longues distances, le Maglev peut transporter les marchandises bien plus rapidement, à des coûts inférieurs et avec moins d'énergie que ne le peuvent les bateaux. En utilisant les voies de l'actuel transsibérien, le Maglev peut par exemple transporter les marchandises entre l'Europe et l'Extrême-Orient en seulement une journée (comparé à plusieurs semaines pour le bateau), à un coût inférieur et avec moins d'énergie.

La figure 8, tirée du rapport spécial de l'EIR sur le Pont terrestre eurasiatique², montre les voies à envisager pour relier l'Extrême-Orient avec l'Europe et les autres pays asiatiques. Le rapport décrit comment ces routes, combinées avec un réseau de nouvelles lignes de trains, peut contribuer à développer et transformer les régions, en transportant les passagers et les marchandises efficacement et à faible coût. Un système de Maglev intégré, basé sur le réseau de voies ferrées existant, peut rapidement être développé. La phase initiale du système de Maglev commencerait avec les 10 000 km du transsibérien. Le transsibérien est actuellement utilisé pour un important transport de fret, environ 100 000 Unités équivalent remorque (UER) annuellement entre le Japon et l'Europe. Avec 25 t par UER, et 10 000 km, cela équivaut à 10 milliards de tonnes par kilomètre par an. La durée du trajet est toutefois de plusieurs jours.

Construire un rail de guidage surélevé le long de la route du transsibérien coûterait 60 milliards de dollars, un investissement considérable. Toutefois, il y a une alternative offerte par le Maglev qui permet un système à grande vitesse à un coût infé-

rieur. Ce système utilise les rails existants pour mettre en lévitation des Maglevs à grande vitesse et qui pourrait être construit pour seulement 1,2 million de dollars par kilomètre.

Le système MERRI (Maglev Emplacement on Railroad Infrastructure) du Maglev-2000 consiste à attacher des planches contenant des enroulements d'aluminium aux traverses en bois ou en béton des voies existantes. La voie de chemin de fer peut encore être empruntée par des trains conventionnels pendant l'installation des planches. Une fois celle-ci terminée, le fonctionnement du Maglev sur le rail de guidage plan résultant peut commencer. Les rails restent en place, mais ils n'entravent pas le fonctionnement du Maglev, et réciproquement. En utilisant le système MERRI, les Maglevs peuvent circuler à une vitesse moyenne de 320 km/h à travers la Sibérie, parcourant 10 000 km en trente heures, alors qu'il faut une semaine avec les trains ordinaires. La quantité d'énergie et le coût par voyage seraient très modestes, environ 300 kWh et 9 dollars (pour 0,05 dollar par kilowattheure) par passager, et 600 kWh et 18 dollars par tonne de marchandise. L'investissement total pour un système MERRI est de

15 milliards de dollars, comprenant l'installation d'un rail de guidage plan, les gares et un parc initial de 400 voitures de Maglev. Avec cette capacité à grande vitesse, un seul Maglev emportant à chaque trajet 50 t de marchandises pourrait transporter 10 000 t par an entre l'Extrême-Orient et l'Europe.

Une possibilité fascinante s'offre avec la construction d'un système Maglev-2000 superrapide. Les véhicules fonctionnent dans un tunnel sous vide à 1/1000^e de la pression atmosphérique ambiante. Voyageant à 3 200 km/h (presque Mach 3), les Maglevs pourraient parcourir la distance de 10 000 km en seulement trois heures au lieu de trente heures à l'air libre. Le coût énergétique du voyage serait inférieur à 1 dollar par passager et environ 1 dollar par tonne de marchandise par kilomètre. Bien sûr, l'investissement pour une voie transsibérienne superrapide serait bien supérieur à celui nécessaire pour un système MERRI – 100 milliards de dollars comparés à 15 milliards – mais les revenus accrus et la diminution des coûts de fonctionnement contrebalanceraient largement le surcoût initial.

Le concept de Maglev superrapide dans des tunnels à basse pression a été étudié tout au long des vingt dernières années, notamment pour le système Swissmetro.

Pour que le Maglev devienne réalité

De notre point de vue, il est inévitable que le Maglev s'étendra et évoluera comme un mode majeur de transport au XXI^e siècle. Les avantages qu'il offre (une plus grande vitesse, aucun besoin de pétrole, zéro pollution, un coût réduit pour les passagers et le transport de fret, ainsi que l'absence de congestion) attirera de plus en plus d'utilisateurs.

La véritable question est la suivante : à quelle échéance, le Maglev peut-il avoir un impact majeur sur le transport et que peut-il être entrepris pour accélérer ce processus ? La technologie du Maglev est déjà disponible. Aucune invention fondamentale ni de nouveaux matériaux ne sont nécessaires. Le Maglev a plutôt besoin d'expérience de fonctionnement et

de test sur des voies, ainsi que du développement de l'optimisation afin de diminuer les coûts de construction et de fonctionnement. Les gouvernements du Japon et de l'Allemagne ont joué un rôle fondamental dans le développement du Maglev, dépensant chacun environ 2 milliards de dollars. Leurs Maglevs de première génération, toutefois, sont trop onéreux et contraignants pour être utilisés à grande échelle. Nous avons besoin d'une seconde génération de Maglev, comme le Maglev-2000, qui a un coût financier plus faible et un marché plus étendu avec le transport de fret par semi-remorque.

Il est nécessaire de réduire les coûts des systèmes de Maglevs et étendre leurs capacités, mais cela n'est pas suffisant. On a aussi besoin du leadership des Etats. Fournir un moyen de transport efficace, pratique et abordable est l'un des devoirs fondamentaux d'un Etat. Par le passé, le gouvernement américain a toujours joué un rôle majeur dans la planification pour développer de nouveaux modes de transport plus efficaces. Dans la dernière moitié du XIX^e siècle, l'expansion rapide vers les territoires de l'Ouest et l'industrialisation des Etats-Unis ont été le résultat d'une politique publique d'énormes subventions et d'allocation de terrains pour les chemins de fer. De la même manière, le système des autoroutes inter-Etats, dont notre prospérité matérielle dépend en grande partie, a vu le jour parce que l'Etat l'avait planifié et mis en œuvre. Notre niveau de vie serait bien inférieur sans le système de transport aérien, qui permet des déplacements rapides des personnes et des biens à l'intérieur des Etats-Unis comme à l'extérieur. Ce système n'aurait pu voir le jour sans un financement public pour développer des avions et construire des aéroports.

Les Etats peuvent aider à réaliser les systèmes de deuxième génération, en finançant des prototypes des technologies avancées du Maglev et en instaurant des partenariats entre le public et le privé afin de trouver des revenus pour les systèmes de Maglevs. Dans ce dernier rôle, l'Etat devrait cesser de subventionner des systèmes qui ne sont pas économiquement viables. A la place, il devrait offrir des incitations financières pour réaliser des systèmes améliorés de Maglevs à faibles coûts qui attireront

les usagers. Pour le coût du rail de guidage, par exemple, on pourrait structurer la contribution du gouvernement de telle sorte qu'elle augmente quand le coût total décroît. Ceci serait une forte incitation à améliorer des conceptions pour diminuer considérablement les coûts, plutôt qu'une subvention régulière pour aider à développer un système anti-économique.

Les Etats doivent reconnaître que le développement de nouveaux systèmes de transport plus efficace comme le Maglev, qui ne nécessite pas de pétrole, devrait être un objectif à court terme des plus prioritaires. Le pétrole devrait être réservé comme matériau chimique. Ces pays, comme l'Allemagne, le Japon et la Chine, qui ont déjà commencé à développer des systèmes Maglev, ont le potentiel de devenir les leaders mondiaux dans ce nouveau mode de transport. Le Maglev fournirait d'énormes profits, non seulement grâce à ces coûts extrêmement faibles pour transporter les personnes ou les biens, et son faible besoin pour des énergies coûteuses, mais aussi grâce aux centaines de milliers de nouveaux emplois qu'il permettrait de créer. La plupart de ces emplois seront constitués par les postes dans les compagnies qui produiront les véhicules du Maglev ainsi que les rails de guidage pour l'exportation dans les autres pays.

Le Maglev est une technologie qui va transformer le monde des transports. Son impact sera aussi grand que l'introduction des navires, du chemin de fer, de l'automobile, du camion ou de l'avion. Il transformera la capacité de l'humanité pour le transport rapide et efficace de personnes et de biens. La révolution technologique du Maglev apportera une augmentation rapide du niveau de vie. ■

Références

1. J.R. Powell et G.T. Danby, 1966, « High Speed Transport by Magnetically suspended Trains » Paper 66-WA/RR-5, ASME meeting, N.Y., ainsi que « A 300 mph Magnetically suspended Train », Mechanical Engineering, Vol. 89, pp. 30-35.
2. Jonathan Tennebaum, et al., The Eurasian Land Bridge – the New Silk Road – Locomotive for Worldwide Economic Development, Executive Intelligence Review (janvier 1997). Egalement disponible en français auprès des Editions Alcuin.