



TRAIN À LÉVITATION MAGNÉTIQUE



C'est quoi ?

Un train à lévitation magnétique est un train qui avance en utilisant la sustentation magnétique (lévitation). La sustentation magnétique est « l'état d'un corps maintenu à faible distance au-dessus d'une surface, sans contact avec elle, par une force verticale dirigée de bas en haut et équilibrant le poids du corps ». Ce phénomène permet de soustraire un corps à l'action de la pesanteur. Il est réalisable grâce à la magnétisation. Les trains à sustentation magnétique « flottent » [ou lèvitent] au-dessus d'une piste. Ils sont propulsés par des champs électromagnétiques et peuvent atteindre des vitesses élevées, puisqu'ils ne sont pas limités par le frottement de la roue sur le rail.



La Chine a lancé son prototype de train à sustentation magnétique conçu pour fonctionner à une vitesse maximale de 600 km/h. © News CN



Le JR-Maglev, le train à lévitation magnétique japonais a atteint la vitesse de 590 km/h ©AFP

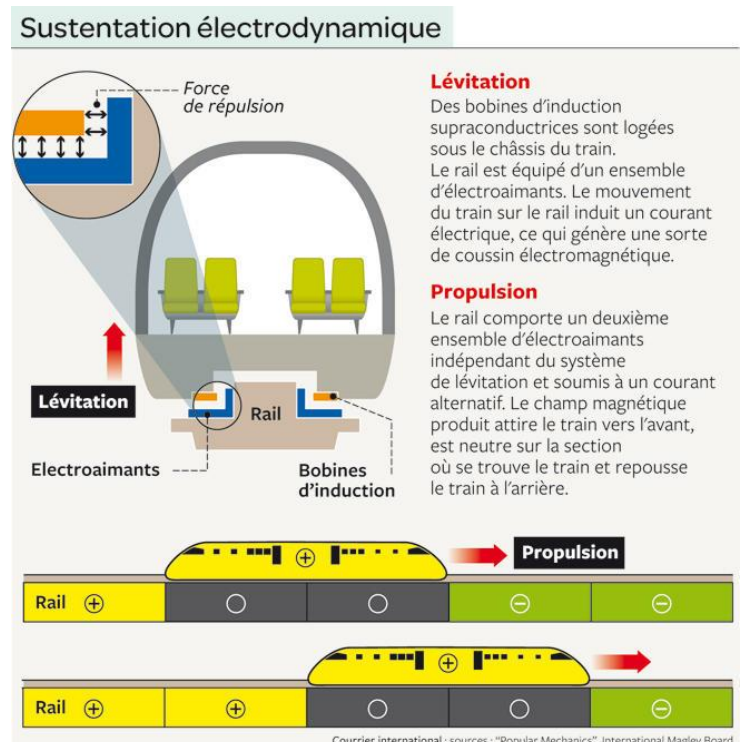
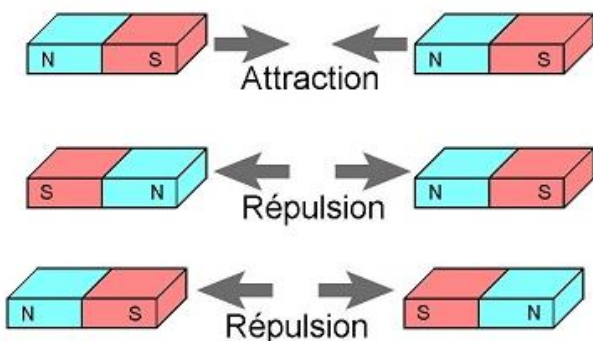
Comment ça fonctionne ?

Le début des recherches sur le train à sustentation magnétique ont commencé en 1922 avec l'Allemand Hermann Kemper [brevet déposé en 1934], puis ces recherches sur ce train futuriste ont été reprises par le Japon en 1962 avec le Maglev. Au fil des années les recherches reprirent en Allemagne avec les entreprises Siemens et MMB qui effectuent les premiers prototypes du Transrapid dans les années 1970. Et c'est d'ailleurs à Hambourg, en Allemagne, que le premier train à sustentation magnétique qui a transporté des passagers a été mis en place en 1979 : c'était le Transrapid 05. Aujourd'hui, ce sont principalement les Chinois [avec Siemens] et les Japonais [Maglev] qui développent cette technologie.

Lévitiation et propulsion :

On sait que deux aimants se repoussent et s'attirent selon le positionnement des pôles des aimants : un pôle Sud est attiré par le pôle Nord et inversement. En revanche deux pôles Nord ou deux pôles Sud se repoussent. Le système de lévitation repose sur l'utilisation d'électro-aimants et de supraconducteurs. Afin de maintenir le véhicule en équilibre, ces aimants sont activés en alternance. La propulsion est elle aussi gérée par ce procédé.

Un moteur est utilisé pour propulser le train, il permet l'attraction ainsi que la répulsion des électroaimants. L'électricité reçue par les rails de guidages [celles-ci étant activées seulement lors du passage du train] permet ce phénomène. En effet, un courant alternatif [inversion pôle positif /négatif] met en place ce procédé attraction /répulsion et permet le déplacement du train a une vitesse importante. La variation de la vitesse se fait grâce à ce moteur, lorsqu'on augmente l'intensité du courant, la vitesse augmente avec. Il conserve une certaine stabilité au train.

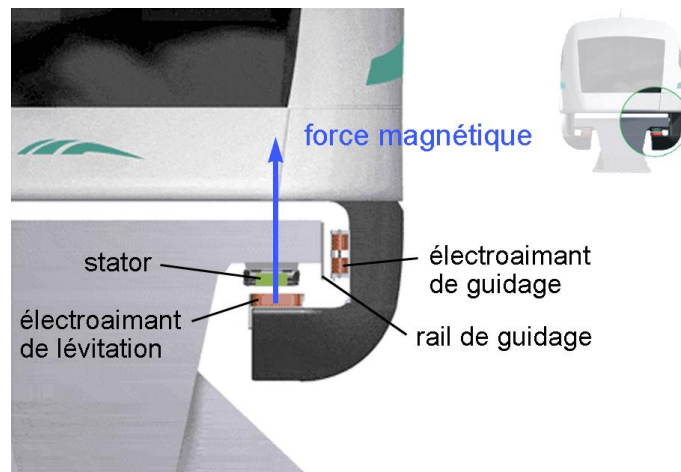


Les technologies

Il existe deux sortes de train à sustentation magnétique : le train à sustentation électromagnétique qui correspond au Transrapid Allemand et au Transrapid de Shanghai qui utilisent la lévitation [ou sustentation électromagnétique] et le train utilisant le système de propulsion magnétique [ou sustentation électrodynamique] qui correspond au Maglev Japonais.

Le train à sustentation électromagnétique [ou EMS] :

Ce train lévite strictement par attraction. Un électroaimant est placé sur la partie inférieure du train situé en dessous du rail sur lequel il circule. Des barres de fer laminé sont placées en dessous des rails de façon qu'elles se trouvent au-dessus des électroaimants. Les électroaimants sont attirés par les barres de fer laminé sans rentrer en contact avec elles. Cela permet donc au train de léviter sans avoir de contact avec le rail. Il faut noter les électroaimants ne sont supraconducteurs.



Modélisation de la lévitation du Transrapid



Transrapid allemand

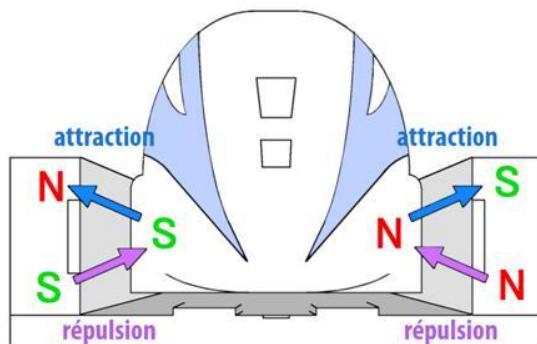
Les technologies

Le train à sustentation électrodynamique (ou EDS) Maglev :

Ce train circule sur une voie en « U » formé d'une surface entourée de deux murets longeant toute la ligne et contenant des électroaimants. Le train lui-même contient des électro-aimants qui sont eux aussi supraconducteurs permettant une optimisation de l'énergie consommée.

La lévitation du Maglev, nécessite, à droite sur le bas des murets, un électroaimant de pôle identique à celui du côté droit du train et en haut du bord droit de la rame, un aimant d'orientation contraire à celui du côté droit du train. L'aimant du bas repousse donc celui dans le train tandis que celui du haut l'attire.

Ce double phénomène d'attraction et de répulsion n'a un effet complet qu'à une vitesse avoisinant les 150 km/h. En dessous de cette vitesse, des roues placées dans la bogie permettent de supporter le train, car celui-ci ne peut léviter. Le principe de lévitation magnétique n'a alors que la fonction d'alléger le train, le principe de propulsion magnétique lui est le seul moyen utilisé pour faire avancer le train.



Modélisation de la lévitation du JR-Maglev



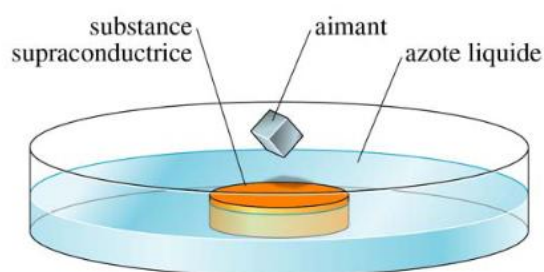
Le JR-Maglev japonais

Pour que le train puisse léviter, il faut que la force magnétique compense la gravité. Un centimètre suffit mais pour cela il faut une force de 4.2 Tesla. Pour s'imaginer ce que cette force représente, la force d'attraction de la terre est de $4 \cdot 10^{-5}$ tesla et celle d'un aimant entre 10^{-2} et 10^{-1} tesla.

Le tesla est une unité de densité de flux magnétique : $1 \text{ T} = 1 \text{ kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$.

Fonction de supraconductivité

La supraconductivité, c'est la propriété qu'ont certains matériaux de pouvoir transporter du courant électrique, sans perte et sans dissipation. Il faut imaginer que le courant électrique puisse se déplacer d'un endroit à l'autre dans ces matériaux, sans ralentir, sans perdre de l'énergie et donc, si on faisait tourner ce courant électrique dans un anneau supraconducteur, ce courant pourrait tourner quasiment à vie et même au-delà, une centaine d'années sans s'arrêter, parce que les électrons qui portent ce courant ne sont pas freinés et ne dissipent aucune énergie. C'est ça, la supraconductivité. Supra, ça veut dire que les électrons qui conduisent ce courant sont tellement efficaces qu'ils n'auront aucune perte. C'est pourquoi on appelle ça un supraconducteur, c'est vraiment l'excellente conductivité.



© COREDOC, NATHAN 2012

fig.8

L'exclusion de flux, due à ce que l'on appelle l'effet Meissner, peut être facilement démontrée en plaçant un petit aimant au-dessus d'un supraconducteur, et en abaissant la température de ce dernier en dessous de son T_c . L'aimant commencera alors à flotter au-dessus du supraconducteur

Les supraconducteurs sont des matériaux dont le principe est de n'avoir aucune résistance électrique et de repousser les champs magnétiques à une température proche du 0 absolu. En conséquence, la présence de supraconducteurs nécessite un système de refroidissement sophistiqué. Le train lévite donc une fois les électroaimants mis sous tension. Ces bobines [en yttrium] sont enfermées sous vide dans une coque qui maintient une température inférieure à $50K$ pendant 9h. Le trajet effectué par un train qui lévite de cette manière doit donc être inférieur à 9h. L'action des électroaimants, avec les supraconducteurs qui fait léviter le train est appelée « force Laplace ».

L'Hyperloop

Le concept d'Hyperloop est un projet de transport novateur ressemblant à un train capable d'atteindre la vitesse de 1 200 Km/h grâce à une propulsion sur coussins d'air aimantés dans des tubes sous vide. Dans sa définition, la capsule est ainsi propulsée en lévitation dans le tube sans se voir opposer de résistance ou de frictions. Et ce faisant, elle peut atteindre une vitesse beaucoup plus importante que les trains à grande vitesse. Sur le papier, c'est donc assez simple et ça ressemble à une version géante des tubes pneumatiques qui servaient à envoyer des télégrammes au 19^{ème} siècle. L'Hyperloop se rapproche davantage des fusées et des voitures volantes. Cette idée, ainsi que la possibilité de réduire considérablement les temps de trajets séduit bon nombre d'investisseurs et de scientifiques.



Virgin Hyperloop One : travaille actuellement sur deux projets. Une ligne qui doit relier Dubai à Abu Dhabi en 12 minutes et une autre ligne, en Inde, permettant de relier les villes de Pune et Bombay.

Hyperloop Transportation Technologies : société Américaine ayant conclu un accord avec la Slovaquie pour mettre en place deux Hyperloop capables de faire Bratislava-Vienne en huit minutes et Bratislava-Budapest en une dizaine de minutes.

Transpod : société canadienne dirigée par un français, Sébastien Gendron. Cet ancien ingénieur d'Airbus et son équipe envisagent grâce à leur projet d'Hyperloop de relier les villes de Toronto et Montréal en une demi-heure. Cette entreprise est installée en France. Elle a récemment lancée la construction d'une piste d'essai près de Limoges. Elle travaille depuis quelques mois sur un projet de ligne Hyperloop en Thaïlande.

SpaceX : la société d'Elon Musk investit également dans le projet via la conception d'un prototype et l'organisation annuelle d'un concours [Hyperloop Pod Competition] réunissant des équipes venant des plus prestigieuses universités du monde afin de leur permettre de faire vivre et évoluer le concept.



AVANTAGES

- Se déplace à très grande vitesse.
- La nuisance sonore est très limitée.
- La résistance aérodynamique ainsi que la vitesse lui permet de ne pas détruire le paysage et ses écosystèmes.
- Ne rejette aucune fumée et n'utilise que peu d'électricité grâce à une alimentation par secteur.

INCONVENIENTS

- Il y a très peu de trains à lévitation en service dans le monde.
- Coût de fabrication très élevé.
- Ces trains nécessitent la présence de rails et d'aiguillages spécifiques qui ne sont pas les mêmes que ceux utilisés pour les autres trains.
- Pas adapté pour le transport de marchandises (une charge trop pesante pourrait entraîner des frottements).

Pour en savoir plus :

https://youtu.be/1EN_ZiB0JI4

<https://youtu.be/ES6-HDiOq5w>

<http://iletaitunefoislestrains.e-monsite.com/pages/iii-le-train-a-sustentation-magnetique.html>

<https://www.cea.fr/multimedia/Documents/infographies/Defis-du-CEA-infographie-supraconductivite.pdf>

<https://virginhyperloop.com/>

<https://youtu.be/JkQ8ISbC0p4>