

TAI Champs Magnétiques

TAI Champs Magnétiques

Introduction

Aujourd'hui, le respect et la protection de la planète deviennent des enjeux de plus en plus importants de notre société. C'est pourquoi les pays tendent à devenir indépendants des énergies fossiles : jugées trop polluantes, ces énergies ont tendance à devenir de plus en plus rare. En effet, d'après certaine estimation, la quasi totalité des quantités de charbon, de gaz et de pétrole seront consommées après le 2^e millénaires. Tous les secteurs sont concernés, les transports en commun, en particulier, se sont beaucoup améliorés sur ce point. Les automobiles deviennent électriques, les bateaux diminuent leur consommation d'énergie ... Mais qu'en est-il des trains ? De nombreux projets se développent à l'instar du train à lévitation magnétique. Mis à part l'enjeu écologique les trains à lévitation constitue en premier plan une avancée technologique importante. Un train à sustentation magnétique est un train qui utilise les forces magnétiques pour assurer sa sustentation (lévitation) et pour avancer. Au contraire des trains classiques ce type de train présente de nombreux avantages, comme une vitesse de pointe et de croisière plus élevées ainsi que de meilleures accélérations et relances. Alors que la France a tourné le dos à ce type de technologie dans les années 70 pour le TGV, certains pays aujourd'hui sont équipés de ces trains à lévitation magnétique. C'est le cas de l'Allemagne et du Japon avec le Transrapid et le Maglev. Parmi les trains utilisant la transformation de l'électricité en énergie magnétique, deux types se distinguent : L'EDS (Suspension électrodynamique) et l'EMS (Suspension électromagnétique). Cette technologie de pointe encore méconnu soulève plusieurs interrogations. Sur quels principes physiques reposent-ils ? Comment le train peut-il l'éviter ? Quel système de propulsion utiliser ? Comment freiner un train ? Nous détaillerons toutes ces questions tout au long de ce projet dans 3 parties distinctes. Dans un premier temps nous allons expliquer les techniques de sustentation, les phénomènes physiques qui puissent faire léviter un train. Ensuite dans un second temps nous parlerons des techniques de propulsion et guidage du train, pour enfin finir dans une troisième partie où nous conclurons sur les impacts de cette nouvelle technologie dans nos sociétés.

Sommaire

Introduction.....	2
I. Techniques de sustentation.....	4
A. Sustentation électromagnétique	4
B. Sustentation électrodynamique.....	5
II. Propulsion et guidage du train.....	8
A. Principe de la propulsion	8
B. Gestion de la vitesse et du freinage	9
C. Guidage du train.....	9
D. L'économie de l'énergie.....	9
E. Résumé	10
III. Impacts	12
A. Avantages / Inconvénients.....	12
B. Aspect social et politique	12
Conclusion	14

I. Techniques de sustentation

En tout premier lieu, le principe de la sustentation est le fait de se maintenir en équilibre. Les trains à sustentation reposent donc sur ce principe, et cela au moyen du maintien en équilibre du train au-dessus des rails. On a donc deux éléments bien distants n'étant pas en contact : Le train et les rails.

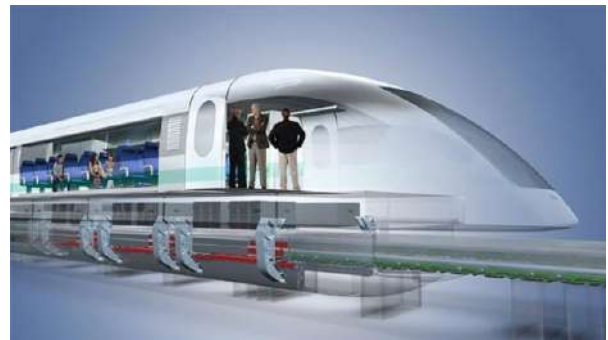
Il y a deux différents types de sustentation :

- La sustentation électromagnétique : Utilise des électroaimants sous forme de bobines
- La sustentation électrodynamique : Utilise la supraconductivité pour faire léviter un train

A. Sustentation électromagnétique

Pour commencer, et ce qu'il faut savoir, c'est qu'un train utilisant cette technologie a déjà été développé, par deux sociétés Allemandes : Siemens et MBB. Ce train a été nommé le Transrapid.

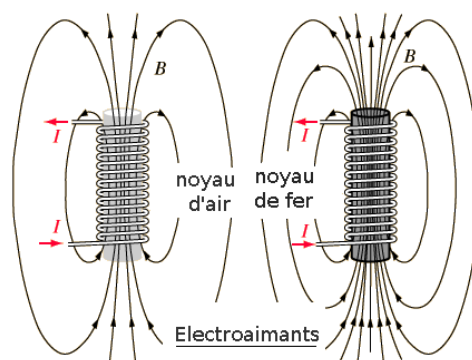
Son fonctionnement est « simple » : Un champ magnétique circule entre le train et le monorail, permettant ainsi au véhicule de ne pas être en contact avec les rails.



1. Transrapid

Pour léviter au-dessus du rail, ce train utilise seize électroaimants qui sont placés dans chaque wagon, juste sous les bras du rail. Le champ magnétique qu'ils créent entre en interaction avec le champ magnétique des aimants qui sont placés sur le rail, et créent de cette manière, une force d'attraction entre le rail et la partie inférieure du train.

Un électroaimant est constitué d'un circuit dit « magnétique » et d'un circuit électrique. Le circuit électrique est basé sur le même principe que celui de la bobine, ce sont des fils conducteurs enroulés. On y envoie un courant, et il va créer un champ magnétique, similaire à celui des aimants droits, ayant la même répartition spatiale. Le volume à l'intérieur de cet enroulement est le noyau de l'électroaimant et peut servir, entre autres, de circuit électromagnétique. Les électroaimants sont, contrairement aux bobines, souvent composés d'un noyau ferromagnétique qui multiplie par 10 voir par 100 le champ magnétique créé.



Les recherches préalables au développement de ce train ont montré qu'un courant de quelques dizaines d'ampères seraient nécessaires pour contrer les effets du poids pour que le train lévite. Ce nombre, très élevé, peut cependant être réduit facilement, notamment en changeant le cœur de l'élément, en utilisant par exemple du fer pur. L'intensité nécessaire ne serait alors que de 2,6 ampères.

On peut également faire varier la taille, le nombre de spires par unité de longueur, de l'électroaimant pour obtenir des performances équivalentes pour un courant nécessaire plus faible.

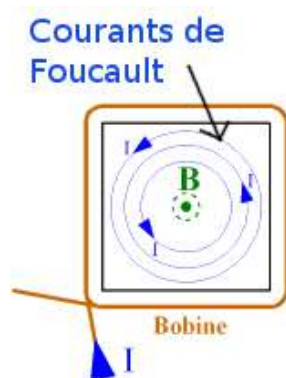
Cependant, en application réelle, un autre effet peut poser problème : Les effets des courants de Foucault créés dans le noyau des électroaimants. Ces courants se reflètent à travers deux phénomènes :

- Les courants de Foucault vont subir la résistance électrique du matériau : Le matériau va chauffer par effet Joule et peut endommager l'électroaimant.
- Les courants de Foucault vont s'opposer aux variations du courant dans le bobinage. Cela peut devenir dangereux s'ils empêchent la stabilisation du train.

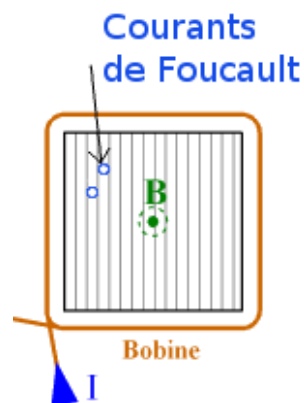
Ces effets peuvent cependant être contrés. Lorsque le noyau est massif – qu'il est d'un seul tenant – les courants de Foucault circulent dans tout le noyau. Les électrons vont alors se déplacer en cercles dans les sections du noyau, soit, perpendiculairement au champ.

Pour contrer ces effets, il faut réduire la taille des courants dans la masse conductrice.

Cela peut se faire en créant un noyau à partir de feuilles très minces du matériau ferromagnétique choisi. On les colle en les séparant par un vernis isolant, les courants dans le noyau ne peuvent ainsi que se développer dans des sections de la taille de l'épaisseur définie. Les courants deviennent si petits que leurs effets deviennent sans importance.



2. Courants de Foucault, noyau de base



3. Courants de Foucault, noyau modifié

B. Sustentation électrodynamique

Un autre procédé de sustentation qui pourrait être utilisé pour faire léviter le train, est la sustentation électrodynamique.

La supraconductivité est la capacité de certains matériaux à avoir une résistance nulle lorsqu'ils sont traversés par un courant électrique. Cela signifie que le courant passe, sans qu'il n'y ait perte d'énergie !

Les supraconducteurs sont également capables d'exclure les lignes de champ magnétique. Ces supraconducteurs doivent cependant être constamment soumis à une température suffisamment froide pour que le matériau puisse, lorsqu'il est soumis à un champ magnétique extérieur, créer un courant électrique qui va s'opposer au champ extérieur. Ainsi, le champ magnétique à l'intérieur du supraconducteur sera nul, c'est ce qu'on appelle l'« Effet Meissner ».

Cette théorie est la base de la lévitation se basant sur ce phénomène.

Pour qu'un matériau devienne supraconducteur, il faut que celui-ci soit soumis à une température définie. Cette propriété ne s'applique que lorsque le matériau est soumis à un champ magnétique n'étant pas trop intense, ne dépassant pas le « champ magnétique critique », cette limite dépend, entre autres, de la forme de l'objet. Par exemple, un supraconducteur aura une valeur maximum de champ magnétique moins élevée que celle d'un supraconducteur ovale.

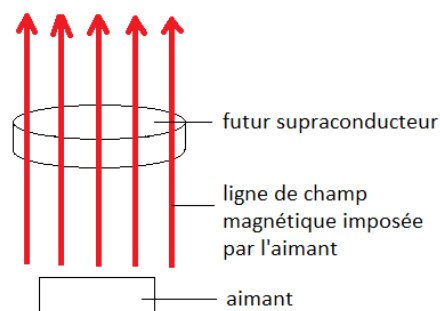
Il existe d'ailleurs deux types de supraconducteurs :

- **Supraconducteurs de premier type** : Un matériau est dans l'état supraconducteur s'il remplit les conditions ci-dessus (Température et champs magnétique). Sa résistance au courant du matériau est totalement nulle lorsque celui-ci est en état supraconducteur.
- **Supraconducteurs de deuxième ordre** : Ces matériaux possèdent deux champs magnétiques critiques avec 3 états : Normal, Mixte et supraconducteur.

H : Champ magnétique, H_{c1} : Champ magnétique critique 1, H_{c2} : Champ magnétique critique 2

$H < H_{c1}$	$H < H_{c2}$	$H_{c1} < H < H_{c2}$
Etat supraconducteur	Etat normal	Etat mixte

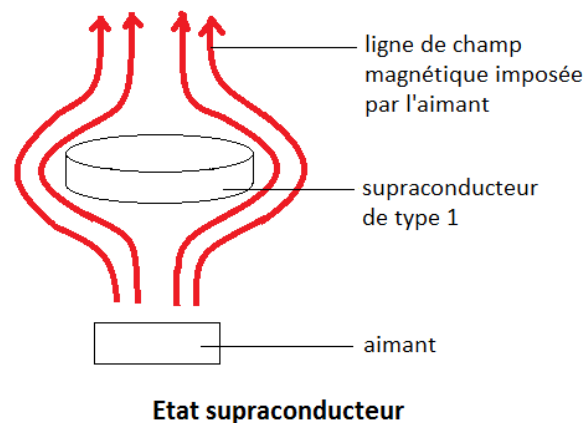
Pour les 2 types de supraconducteurs, l'état normal est le même, et peut-être représenté de la sorte :



Etat normal

4. Etat normal [A REFAIRE]

Pour le supraconducteur de type 1, son état supraconducteur peut-être représenté comme suit :

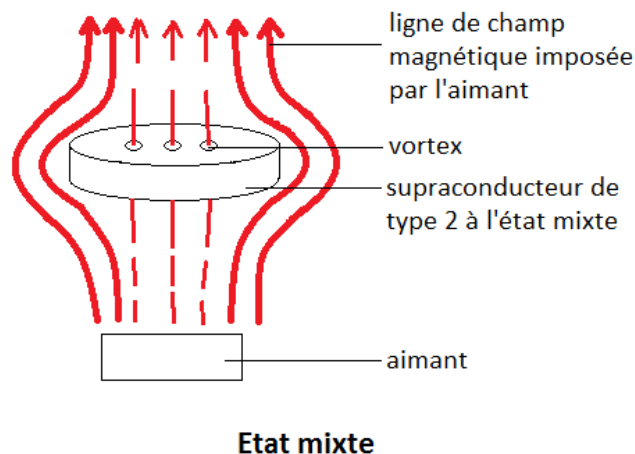


5. Supraconducteur type 1, état supraconducteur [A REFAIRE]

Le principal problème des supraconducteurs de type 1, reste leur stabilité. En effet, comme on l'a vu précédemment, lorsqu'ils sont refroidis, ceux-ci vont repousser le champ magnétique extérieur de l'aimant, ce champ magnétique ne passera donc pas à travers le supraconducteur.

Ce phénomène est la cause de l'instabilité de ce type de supraconducteur.

Cependant, pour les supraconducteurs d'ordre 2, lorsque le champ magnétique de l'aimant est suffisamment important, il va pouvoir pénétrer le supraconducteur par ce qu'on appelle des vortex, rendant la lévitation beaucoup plus stable, rendant celle-ci beaucoup plus sécurisée. On peut représenter cela de la façon suivante :



6. Supraconducteur type 2, état mixte [A REFAIRE]

Mais concrètement, comment peut-on appliquer cela pour notre train ? On utilise le principe de sustentation électromagnétique, mais au lieu d'utiliser des électroaimants classiques, on se sert d'électroaimants supraconducteurs refroidis à l'hélium liquide. Une autre solution serait d'utiliser des bobines supraconductrices, qui lorsqu'elles sont parcourues par un courant, n'opposent pas de résistance à celui-ci, et ne crée donc pas de réchauffement. Cette deuxième solution est toutefois, pour le moment, à l'état de prototype.

II. Propulsion et guidage du train

Dans cette partie nous allons étudier la propulsion d'un train à sustentation magnétique. Par définition la propulsion décrit un moyen de mettre en mouvement un objet, c'est-à-dire de le faire se déplacer.

A. Principe de la propulsion

Comme nous l'avons étudié dans notre cours, 2 mêmes pôles d'un aimant se repoussent, tandis que 2 pôles opposés s'attirent.

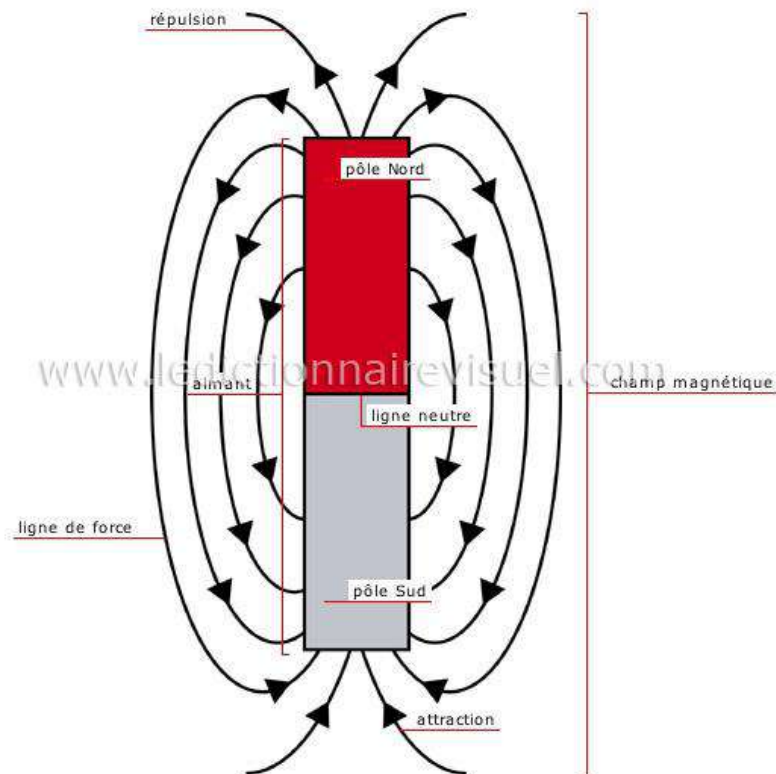


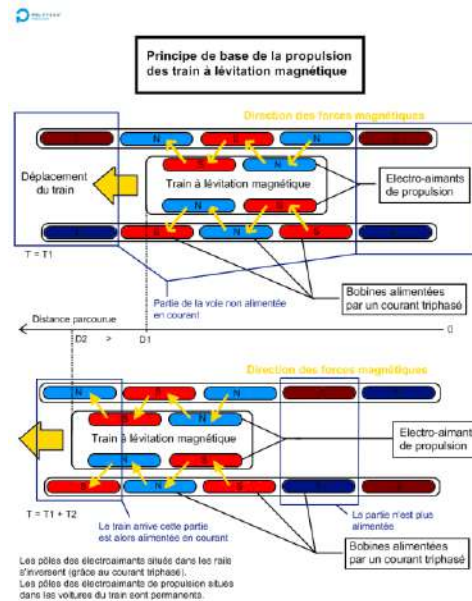
Illustration du magnétisme

Ainsi, on va disposer des électro-aimants sur chacun des wagons afin de les sustenter au dessus du rail. Nous remarquerons une différence entre le Transrapid qui utilise des électro-aimants, alors que le Maglev utilise des bobines supraconductrices.

Ensuite, afin de propulser le train, un moteur linéaire synchrone à stator long est utilisé. Contrairement à tous les moteurs conventionnels, celui-ci est un moteur sans contact puisqu'il utilise l'énergie magnétique pour fonctionner.

Ce moteur est composé de bobines qui sont alimentées par un courant triphasé qui sont installées sur la voie, et des électro-aimants (dans le cas du Transrapid) sur le train. Le courant triphasé va permettre aux bobines placées sur le rail d'avoir un pôle alterné entre chacune d'entre-elles. or le courant étant alternatif leur pôle va successivement s'inverser au cours du temps.

C'est cette inversion qui va permettre au train d'avancer :



[[[Schéma à redessiner, car créé par les gars de polytech]]]

B. Gestion de la vitesse et du freinage

Pour permettre au train d'accélérer il va falloir agir sur la fréquence du courant triphasé qui alimente les bobines. Lors de l'initiation du mouvement, par exemple dans une gare, il va falloir augmenter progressivement la fréquence du courant pour faire atteindre au train sa vitesse de croisière.

Ce système peut aussi être utilisé pour le freinage. Cependant on trouve aussi des aérofreins comme sur le Transrapid, ou des freins à disque comme sur le Maglev qui utilise des roues en dessous de 100km/h.

C. Guidage du train

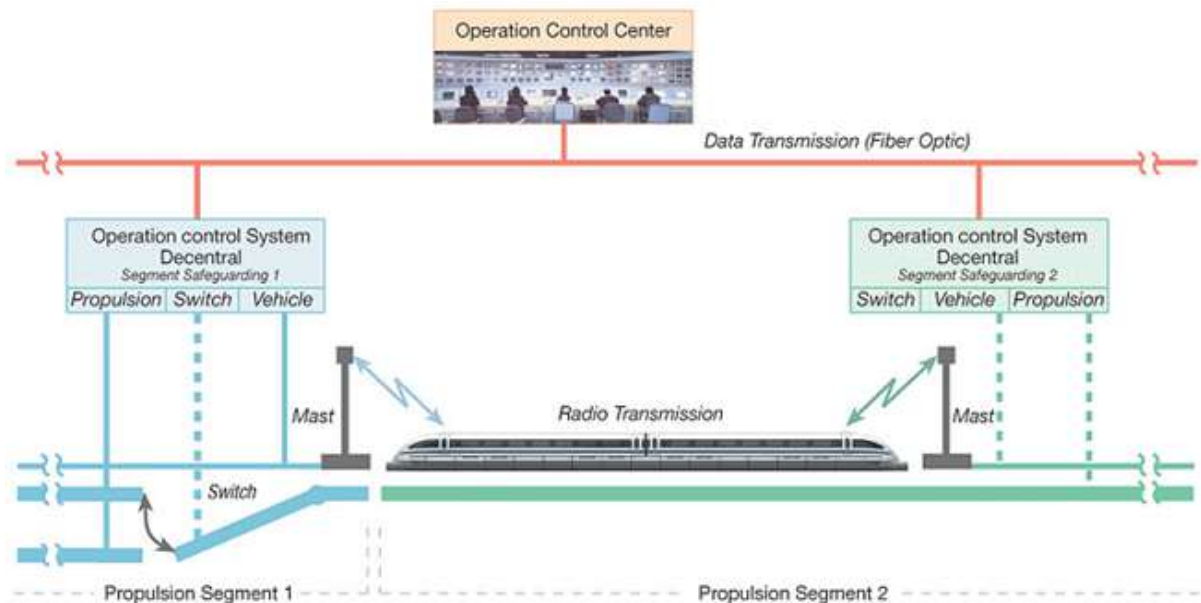
Tout au long du parcours du train la position du train par rapport à la voie va forcément varier : vent, pente, etc ... Il faut donc pouvoir le stabiliser. De la même façon que pour la propulsion, on va placer des électro-aimants de chaque côté de la voie, ainsi que sur le train, afin de préserver l'écartement.

Ainsi, si par exemple le train dévie trop sur un côté il suffit d'augmenter l'intensité de l'aimant pour que le train soit repoussé de l'autre côté.

D. L'économie de l'énergie

Si l'on devait alimenter l'intégralité des voies, cela demanderait une énergie considérable; c'est pourquoi il convient d'alimenter seulement la partie où se situe le train.

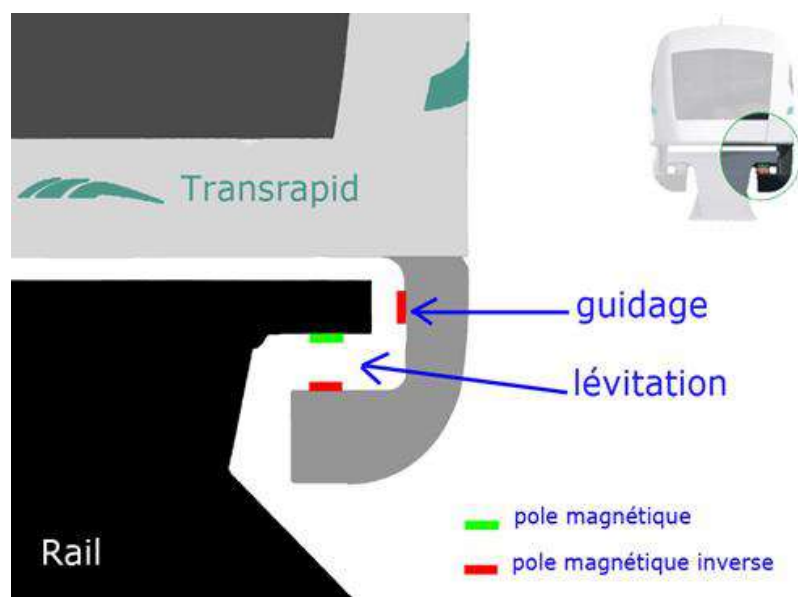
Pour cela un centre de contrôle permet, à l'aide de capteurs, de choisir quelle partie alimenter. De plus, étant donné la vitesse d'un train ($\sim 500\text{km/h}$), la liaison entre les voies et le centre est câblée avec de la fibre optique.



De plus, lors d'un freinage du train par diminution de la fréquence des bobines va entrainer un "surplus" d'énergie au niveau du stator (donc dans le train) qui va pouvoir être récupéré.

E. Résumé

Voici une image résumant le fonctionnement du la propulsion et du guidage :



[[[]]] Il faut rajouter une partie sur le fonctionnement du moteur synchrone, c'est sur le site donc c'est assez simple à faire. Ce lien est intéressant : <http://newgentransp.e-monsite.com/pages/transports-ferroviaires/train-a-levitation-magnetique.html>

[[[]]] On ne parlera pas du moteur asynchrone, je vois pas trop l'intérêt.

[[[]]] La partie sur la récupération de l'énergie dans le freinage, je l'ai fait très courte, pas besoin de plus ... surtout qu'il va falloir l'expliquer à l'oral.

III. Impacts

A. Avantages / Inconvénients

L'apparition de cette nouvelle technologie constitue des enjeux dans plusieurs domaines. On peut parler en outre d'impacts techniques, social et même politique. Pour ce qui est de la technique le train à lévitation apporte de nombreux avantages comparé aux trains classiques, même à grande vitesse tel que le TGV. Premièrement ce type de trains est très écologique, la consommation d'énergie est réduite au maximum. Cette économie d'énergie est due au fait que les trains à lévitation ne sont pas alimentés par un courant continu. Si l'on prend l'exemple du Maglev et du TGV il faut 83 watts par personne pour alimenter par courant le TGV contre 47 watts pour le Maglev. De plus, un système particulier permet de récupérer de l'énergie lors du freinage et de pouvoir la réutiliser ensuite, lors de la lévitation.

Les trains à sustentation atteignent également une vitesse de pointe plus élevés que ces concurrents, ce qui constitue un atout majeur de communication pour sa construction. Le temps de trajet entre deux villes est beaucoup plus rapide. En effet, la vitesse de croisière des trains à lévitation est d'environ 430 km/h et sa vitesse de pointe maximale de 700km/h alors que pour le TGV, qui est un train performant, elle est de 570km/h. la vitesse est assurée aussi par la meilleure relance des trains à lévitation. Ces types de trains sont largement moins bruyants que les trains que ligne ferrés classique.

D'autre part, les capteurs qui permettent de mesurer la distance entre le sol et les rails du train à lévitation garantissent un risque de déraillement quasi nul. Cela permet d'offrir aux usagers des conditions de sécurité optimales. Cependant le type de rails conçu pour supporter ces trains diffère très largement des chemins de fer et présentent un coût de fabrication très élevés. La maintenance coûte également très cher. De plus ces lignes créent des champs magnétiques puissants qui peuvent nuire à la santé de l'Homme.

B. Aspect social et politique

La technologie de pointe utilisée dans ces trains suscite une certaine fierté de la part des pays possesseur. Toutefois certaines personnes n'ont pas adhéré totalement au projet. La construction des trains a suscité de nombreuses réactions de la part de la population, des questionnements, réticences, mais aussi des manifestations qui pourraient à l'avenir menacer l'implantation de ces trains à sustentation magnétique dans certains pays. Malgré les avantages de cette technologie, certaines caractéristiques méconnus d'une majorité interroge et inquiète la population. Mis à part le bruit inévitable dans tous les grands réseaux de communication, l'aspect de magnétisme sur l'Homme reste une question importante. Le magnétisme a-t-il un impact sur notre santé ? Plusieurs manifestations ont eu lieu à Shangai contre les effets du Maglev sur la santé, voici les paroles d'un manifestant : « *C'est une nouvelle technologie ; on ne connaît pas les effets des radiations sur la santé. Pourquoi devrions-nous servir de cobayes ?* ».

Le magnétisme est présent dans notre environnement naturel à la surface de la terre, ce champ géomagnétique varie entre des valeurs pouvant aller de 0,035 mT à 0,070 mT (millitesla). Les champs

magnétiques sont utilisés pour diverses raisons, et notamment médicales lors des IRM. L'IRM (Imagerie par Résonance Magnétique), qui permet d'obtenir des images du cerveau et d'autres tissus, utilise une intensité de l'ordre de 0.2 à 3T (considérablement plus élevée que l'intensité du champ géomagnétique). Les effets d'une telle exposition sont bien connus : sensations de vertiges et des nausées, avec parfois un goût métallique dans la bouche et des éclairs devant les yeux, après une exposition de plus de 2T.

L'intensité du champ magnétique d'un aimant utilisée pour les trains à sustentation magnétique est comprise entre 0.01 et 0.1 Tesla. Pour faire léviter un train, il faut environ 4.2 Tesla. Le champ magnétique nécessaire pour permettre la lévitation d'un train est donc très puissant. Il faut alors savoir si cette intensité peut toucher directement les usagers du train. Le principe de la cage de Faraday peut être utilisé de manière à protéger les passagers des champs magnétiques utilisés pour faire léviter le train. La cage de Faraday est une enceinte ou cage métallique utilisée pour protéger des nuisances électriques et électromagnétiques extérieures ou, à l'inverse, d'empêcher un appareillage de polluer son environnement. Ce principe est déjà utilisé pour les appareils d'IRM ou les avions pour protéger les passagers et équipements électriques de la foudre. Avec ce principe on pourrait donc diminuer l'impact des champs magnétiques.

Notons toutefois qu'actuellement, nous ne savons pas si ces champs présentent un impact à long terme sur la santé même à des intensités faibles (de l'ordre du millitesla). L'étude des effets du magnétisme sur la santé de l'être humain doit encore être approfondie afin de connaître les avantages et les risques de ces nouvelles avancées. Ainsi la rentabilité de ces trains est remise en question puisque d'une part ils ne sont rentables que sur longues distances et qu'à cela s'ajoute des prix de billets élevés.

L'enjeu principal est donc surtout politique. L'achat de ce train par la Chine n'est clairement que politique. L'obtention de cette technologie de pointe renvoie l'image d'un pays fort, prospère avec une longueur d'avance en matière d'innovation.

Ce projet prouve et donne la place à la supraconductivité au sein des industries. L'intégration de matériaux supraconducteurs à un circuit imprimé éliminerait deux limites majeures : l'échauffement, permettant de réduire leur taille davantage, et le besoin d'alimentation continue, car il n'y aurait plus de pertes par effet Joule. Un ordinateur deviendrait alors beaucoup plus puissant. Le stockage d'énergie peut être aussi envisagé. Ainsi l'électricité produite en centrale n'aura plus à être consommée à l'instant même, mais elle pourra être stockée, créant ainsi des industries munies de machines bien plus performantes.

Conclusion

Le principe de fonctionnement d'un train à sustentation magnétique peut être divisé en deux parties : la lévitation et la propulsion. La lévitation est possible grâce à la suspension électromagnétique produit par des électroaimants situés sur les rails et sous le train. En ce qui concerne la propulsion, son mouvement est produit par un moteur linéaire synchrone à stator long. La vitesse du train varie d'une part en fonction du courant alternatif qui est envoyé dans les bobinages de la voie, et de l'autre par l'ajustement de la fréquence. Grâce à tout cela les trains à sustentation peuvent atteindre des vitesses de plus de 500 km/h. Le freinage est quant à lui aussi assuré par le moteur linéaire mais d'une façon inverse pour réduire la vitesse. Il est accompagné par des aérofreins situés sur le haut du train et permettant d'augmenter les frottements de l'air et donc de freiner plus rapidement le train.

L'électromagnétisme qui permet de faire léviter, propulser et freiner peut être remplacé par la supraconductivité. Cette technique nécessite toutefois une température extrêmement basse qu'on ne peut atteindre qu'en conservant les électroaimants dans un bain d'hélium ou d'azote liquide, puisque le diamagnétique parfait (un matériau qui serait supraconducteur à température ambiante) n'a pas encore été trouvé. Cela s'avère donc dangereux et difficile à réaliser.

L'utilisation de cette technologie implique un savoir faire important. En effet Il faut prendre en compte la surveillance du train tout le long du trajet. Les technologies utilisées nécessitent des réglages extrêmement précis à réaliser en temps réel pour garantir un minimum de sécurité. La vitesse du train, son freinage, et son guidage sur la voie sont les éléments clés à contrôler. De plus la construction de ces trains nécessite une infrastructure important incompatible avec les réseaux ferrés classique. Cette technologie est donc très couteuse, pas sur que les Etats dépense autant pour le développement de ligne de trains à lévitation magnétique.