



Accueil / Divers / Hyperloop. « Une formidable escroquerie technico-intellectuelle »

HYPERLOOP. « UNE FORMIDABLE ESCROQUERIE TECHNICO-INTELLECTUELLE »

🕒 12 novembre 2018 - Divers - 1 Comment + Suivre

Like 1.3K [Tweeter](#) [G+](#) [Share](#) [Enregistrer](#)

Par : François Lacôte. Article paru sur le site de l'association « Pangloss » (association des Lauréats de la Fondation Entreprise et Performance).

Ce n'est pas d'hier qu'on cherche le mode de transport révolutionnaire qui va supplanter le chemin de fer ! Comme s'il semblait acquis que les limites physicoéconomiques du contact roue-rail étaient atteintes, et que le TGV avait son avenir derrière lui... Après l'Aérotrain français, le Transrapid allemand et le Maglev japonais, l'Hyperloop de l'américain Elon Musk semble déchaîner aujourd'hui les rêves les plus fous chez les inconditionnels de l'innovation pour l'innovation. Pour François Lacôte, personnalité mondiale de la grande vitesse ferroviaire, ce projet n'est qu'« une formidable escroquerie technico-intellectuelle ». Il confie à nos lecteurs sa démonstration.

Un postulat de départ inexact

Comme d'autres projets de transport terrestre guidés réputés « innovants » (**Aérotrain, Transrapid allemand ou Maglev japonais**, tous datant du début des années 70), **le projet Hyperloop** se fonde sur la pétition de principe que le **système roue-rail** connaît plusieurs limites :

– une limite technique de vitesse autour de 200/250 km/h : postulat faux, puisque le record de vitesse du 3 avril 2007, établi à 575 km/h lors d'une campagne d'essais étalée sur trois mois d'hiver (janvier à début avril 2007), au cours de laquelle 28 marches d'essai ont été effectuées à plus de 500 km/h avec un train composé de véhicules de « quasi- série », sur une infrastructure strictement « de série », sans autre opération de maintenance du train ou de l'infrastructure qu'une simple « inspection » (donc sans changement ni réparation d'un quelconque élément du train, de la voie ou de la caténaire), a montré que le **système ferroviaire** avait un potentiel technique de vitesse d'au moins 500 km/h ;

– une limite énergétique : s'il est exact que la résistance à l'avancement (donc l'énergie dépensée), dans l'air, croît rapidement avec la vitesse, l'essentiel de cette résistance vient de la résistance aérodynamique (croissant comme le carré de la vitesse), la résistance au roulement du contact roue-rail (déjà très faible) ne représentant plus que quelques pourcent du total au-delà de 300 km/h (une énergie déjà inférieure à l'énergie

de la seule sustentation des autres systèmes) : ainsi tous les systèmes de transport terrestre obéissent à la même loi de la résistance aérodynamique à l'air libre, les systèmes ne faisant plus appel au contact « roue-rail » ne bénéficiant d'aucun avantage spécifique ; le contexte est évidemment différent dans un environnement à pression réduite (avion en haute altitude ou véhicule terrestre dans tube « vide atmosphérique »). Au demeurant, la dépense énergétique reste d'un niveau tout à fait acceptable : la part de l'énergie dans le coût d'exploitation d'un TGV à 300 km/h est de l'ordre de 5 % seulement, et ainsi resterait encore faible (14 %) à 500 km/h.

Une autre illustration de cette très faible dépense énergétique du **TGV** : lors de la marche du record du 3 avril 2007, nous avons parcouru (départ arrêté, donc dépense énergétique intégrant celle nécessaire à la montée en vitesse) 100 km en un quart d'heure, avec environ 200 personnes à bord du train d'essai : le coût de la dépense en énergie électrique (facture payée au fournisseur d'électricité), ne fut que de 1 euro par voyageur transporté.

Le coût de l'**infrastructure** n'est que très faiblement lié à la technologie ferroviaire (quoi de meilleur marché que des cailloux – le ballast – et de la ferraille – le rail), mais il est essentiellement lié au tracé qui doit être de plus en plus « rectiligne » au fur et à mesure que l'on augmente la vitesse, et donc exige un nombre croissant d'ouvrages coûteux (viaducs et tunnels) pour inscrire ce tracé dans le relief traversé.

Un peu d'histoire : rien de neuf ! Hyperloop n'est que la reprise d'un très vieux projet

Rappelons déjà qu'à la fin des années 60 et au début des années 70 de nombreux projets de nouveaux **systèmes de transport terrestre** furent imaginés, et pour certains développés à grands frais, s'appuyant sur ce même faux postulat que le système ferroviaire était limité en pertinence technique et économique du fait de l'existence du contact entre mobile et infrastructure, le contact « roue-rail ».

En France, c'est l'ingénieur **Jean Bertin** qui inventa, avec l'aide financière des pouvoirs publics français, l'**Aérotrain**, train à sustentation et guidage par coussins d'air, et propulsion par hélice ou réacteur d'avion. En Allemagne, ce sont les sociétés **Thyssen et Siemens** qui développent, avec le soutien financier du gouvernement allemand, le **Transrapid**, train à sustentation et guidage par attraction magnétique, propulsion par moteur linéaire synchrone (stator long).

Au Japon, la compagnie **Japan Rail** développe le **Maglev**, train à sustentation et guidage magnétique par répulsion, propulsion par moteur linéaire.

Ces trois développements ont donné lieu à la construction de lignes expérimentales : 18 km dans le Loiret pour l'Aérotrain (1968), 40 km environ dans l'Emsland pour le Transrapid (1984), 50 km environ dans la région de Yamanashi (presque sous le mont Fuji) pour le Maglev japonais (1990). Seule la Yamanashi line est encore opérationnelle à ce jour, et une seule réalisation est en service commercial, la ligne de Transrapid reliant Pudong aéroport à Shanghai (35 km) ; les autres projets de liaison Transrapid, envisagés à l'origine, en particulier en Allemagne, ont été abandonnés. Ainsi, 50 ans après les premières études de systèmes de transport terrestre alternatifs au système roue-rail, une seule ligne expérimentale est encore en fonctionnement, et une seule ligne de 35 km en service commercial.

Les raisons de ces échecs sont multiples, mais ce n'est pas l'objet ici de les décrire : il s'agissait simplement de rappeler que **le concept de l'Hyperloop d'Elon Musk**, pour la partie véhicule et sustentation/guidage, a déjà 50 ans d'existence.

Le « tunnel sous vide d'air » : le « Swissmétro »

Quid maintenant de l'idée de faire circuler un train dans un tunnel sous vide d'air, ou plutôt sous très basse pression d'air ? Le concept, fondé sur l'idée d'une résistance à l'avancement réduite, date des années 70, et c'est il y a 26 ans (janvier 1992) que la **société anonyme Swissmétro** a été créée afin de développer un projet de **train à sustentation magnétique circulant à très grande vitesse** (500 km/h) dans un tunnel à pression d'air très réduite (1/10 de la pression atmosphérique) ; ce projet qui a fait l'objet d'études approfondies et d'un financement apporté pour moitié par la confédération suisse, fut abandonné il y a environ 10 ans, l'entreprise ayant considéré, au terme de ces études, que la réalisation de ce projet n'était pas envisageable...

Ainsi l'ensemble des éléments qui constituent le concept « Hyperloop » se retrouve dans des développements très longs et très anciens, pour beaucoup techniquement très avancés... et qui n'ont pas abouti, pour des raisons à la fois économiques et techniques.

Hyperloop : les incohérences La résistance aérodynamique : tout ça pour ça !

Il semble bien que le concept du système Hyperloop repose sur un objectif primordial : réduire la résistance à l'avancement, essentiellement aérodynamique (mais pas uniquement) à la vitesse envisagée. On peut à ce stade faire les deux constatations suivantes :

– à 320 km/h de vitesse commerciale, la part de l'énergie dans **le coût d'exploitation du TGV** n'est que de 5 %, comme déjà mentionné ; il est donc tout à fait possible d'envisager une vitesse d'exploitation sensiblement supérieure (par exemple 400 km/h), soit un facteur 1,6 d'augmentation du coût de l'énergie (donc maintenant 6,5 % du coût d'exploitation), sans faire « exploser » le bilan économique du TGV en termes d'énergie consommée ;

– le gain de temps apporté par une augmentation de vitesse décroît avec la vitesse (c'est bien triste, mais c'est comme cela) : ainsi, pour un trajet de 600 km, une augmentation de vitesse commerciale de 100 km/h fait gagner 1 heure en passant de 200 à 300 km/h (trajet alors effectué en 2 heures seulement), fait gagner encore 1/2 heure en passant de 300 à 400 km/h (trajet en 1 heure 30), seulement 18 mn de 400 à 500, 12 mn de 500 à 600... et seulement 6 mn en passant de 800 à 900 km/h (vitesse envisagée pour Hyperloop), alors qu'un certain nombre de paramètres dimensionnant le système croissent comme le carré, le cube, voire plus, de la vitesse.

Le débit de la ligne Hyperloop est catastrophique : à décélération identique (par exemple celle du TGV en freinage d'urgence), la distance d'arrêt croît comme le carré de la vitesse ; l'espacement de sécurité entre trains doit évidemment prendre en compte cette distance de freinage en urgence : pour un TGV à 300 km/h il faut un minimum de 3,3 km ; avec une décélération identique (on n'ose imaginer des voyageurs contraints à l'immobilisme, sanglés sur leurs sièges, pendant toute la durée du voyage), cette distance de sécurité devient 10 km pour un véhicule circulant à 900 km/h. On peut imaginer (ce qui ne s'est pourtant encore jamais fait en ferroviaire) réduire cet espacement en tenant compte de la vitesse du véhicule qui vous précède et ainsi de sa distance de freinage, mais à une valeur qui devrait rester de l'ordre de 7 km pour des raisons de sécurité assez évidentes. Ainsi, là où les **systèmes ferroviaires à grande vitesse** actuels permettent un espacement à 3 mn, soit un débit théorique de 20 trains à l'heure, on ne devrait pouvoir faire mieux (même avec l'hypothèse ci-dessus de « chaînage » des circulations) qu'un espacement à 6 mn en Hyperloop, soit un débit théorique de 10 navettes à l'heure.

Facteur très largement aggravant, la capacité unitaire des véhicules est très différente : pour une **rame TGV Duplex** en unité multiple, ce sont plus de 1 000 voyageurs par circulation, alors que pour de multiples raisons, chaque navette Hyperloop se limite à moins de 100 voyageurs dans les projets actuels, ce qui représente ainsi, au mieux, 10 fois moins de capacité par circulation pour Hyperloop.

Ainsi, au total, le débit théorique du système Hyperloop (1 000 passagers par heure) est 20 fois inférieur au débit théorique du système TGV (20 000 passagers par heure) ! Un bilan économique complètement impossible, même avec un coût d'infrastructure proche de celui du système TGV, alors qu'il lui est très largement supérieur !

Hyperloop. Les impasses techniques

La sécurité du système :

– comment est réalisée la sécurité du freinage ? Bien évidemment, le freinage « de service » est électromagnétique, mais un tel freinage n'est pas considéré comme suffisamment sûr dans tous les systèmes de transport terrestre (dont le transport ferroviaire) : ainsi les systèmes japonais et allemand de sustentation magnétique prévoient un « atterrissage » du train sur la voie et le frottement « train/voie » pour la phase finale du freinage : quelle solution non électrique pour un véhicule Hyperloop lancé à 900 km/h ???

– quelle disposition technique envisageable pour le secours des voyageurs dans un tunnel de plusieurs centaines de kilomètres « vide d'air », en cas d'incident comme une panne d'alimentation électrique, de signalisation, de « motorisation », ou tout autre événement conduisant à l'immobilisation prolongée d'une navette ? Faut-il imaginer un réseau d'air comprimé avec une multitude de portes étanches régulièrement réparties tout au long du tunnel pour permettre une réalimentation en air d'une section incidentée et occupée par une navette ?

– plus généralement, quiconque se souvient des exigences de la **CIG (Commission intergouvernementale de sécurité)** pour la réalisation et l'exploitation du tunnel sous la Manche ne peut que frémir à l'évocation de

l'ensemble des dispositions qu'exigerait une autorité publique de sécurité pour une exploitation commerciale avec voyageurs !

Transition mobile/station

Comment passera-t-on d'un environnement « vide d'air » à une station à la pression atmosphérique ? Il paraît évident qu'un « sas » sera nécessaire, avec des portes mobiles venant occulter le tunnel, créer un espace clos que l'on viendra ensuite progressivement réalimenter en air pour l'amener à l'équilibre de la pression atmosphérique : quel dispositif technique, et combien de temps perdu dans cette opération, si l'on se rappelle par exemple, dans le calcul précédemment développé, que le passage de 800 km/h à 900 km/h, sur un trajet de 600 km, ne fait gagner que 6 mn ?

Géométrie de la voie

La très grande vitesse envisagée (900 km/h) implique un tracé quasi rectiligne de la voie, aussi bien en tracé en plan qu'en profil en long ; ainsi, par exemple, le discours expliquant que la capacité du mobile à grimper des pentes importantes (ce qui est exact) permet de mieux s'inscrire dans le relief traversé est une véritable imposture : en effet, outre la rectitude du tracé en plan (rayons de 50 km pour obtenir le même niveau de confort qu'en TGV et ses courbes de 6 km), il faut insister sur l'importance des rayons de courbure du profil en long (en creux comme en bosse) : de l'ordre de 25 km en TGV pour 300 km/h ils devront être de l'ordre de 200 km pour 900 km/h ! Tout cela montre bien que le tracé aboutira nécessairement à une succession de viaducs et tunnels dans tout relief même à peine tourmenté (sauf le Grand Lac Salé des États-Unis...) : l'aptitude en rampe n'a ici aucune utilité...

Pression d'air dans le tunnel.

Refroidissement des organes et résistance à l'avancement, un compromis impossible !

Indépendamment des problèmes techniques déjà considérables pour réaliser une enceinte continue étanche de plusieurs centaines de kilomètres sous pression d'air réduite, soumise aux fluctuations thermiques et souvent sismiques (au moins pour la partie « aérienne » du tube), il convient de trouver un compromis pratiquement impossible entre deux objectifs contradictoires :

- réduire au maximum la pression d'air dans le tunnel pour diminuer la résistance aérodynamique et les effets d'ondes de pression (pistonnement) en tunnel de manière à garder un diamètre « raisonnable » du tunnel par rapport au diamètre des navettes ;
- conserver un minimum de pression d'air pour le refroidissement des organes de traction, d'énergie auxiliaire, assurer le renouvellement d'air de la climatisation pour les voyageurs, et rester dans un scénario « raisonnable » pour la réalimentation en air du tunnel (ou du moins de la section concernée après fermeture des cloisons étanches) en cas d'incident conduisant à une immobilisation de navette.

Dans leurs études du projet Swissmétro, les ingénieurs de l'**École Polytechnique de Lausanne** avaient ainsi préconisé de maintenir une pression d'air déjà très basse, de l'ordre du dixième de la pression atmosphérique, ce qui conduisait pourtant, avec un rapport de blocage de 0,46 (rapport des sections entre navette et tunnel, soit un tunnel de section plus de deux fois plus grande que celle du véhicule), à une résistance à l'avancement encore équivalente à celle obtenue à l'air libre en l'absence de tunnel, et ce, pour une vitesse de l'ordre de 400 km/h « seulement »...

Pourquoi faire compliqué quand on peut faire si simple ? 12

SUR LE MÊME SUJET

Technologie. De plus en plus de tunnels ferroviaires

Île-de-France. Ripage en gare de Noisy-Champs

Comme équipe

14 novembre 2018 - Divers