

Innovation dans les transports guidés

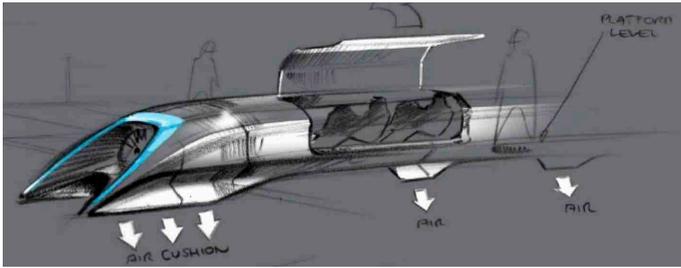
La Très Haute Vitesse

Lévitiation ou Sustentation Magnétique ?

26 janvier 2021

Gérard Coquery, Directeur de recherche émérite
IFSTTAR-UGE
Co-fondateur de TACV Lab





Source: Hyperloop Alpha 2013



Source: Capsule Hyperloop TT 2018



Source: Photo GC InnoTrans 2018



Source: Capsule Hyperloop One nv.2020
172km/h -15s - 500m

passengers Josh Giegel and Sara Luchian.
Hyperloop



WHERE THE POSSIBILITIES ARE ENDLESS

China debuts train prototype that can hit speeds of 620 kilometers per hour

Lilit Marcus, CNN • Updated 18th January 2021



Source: Transrapid Siemens 2004

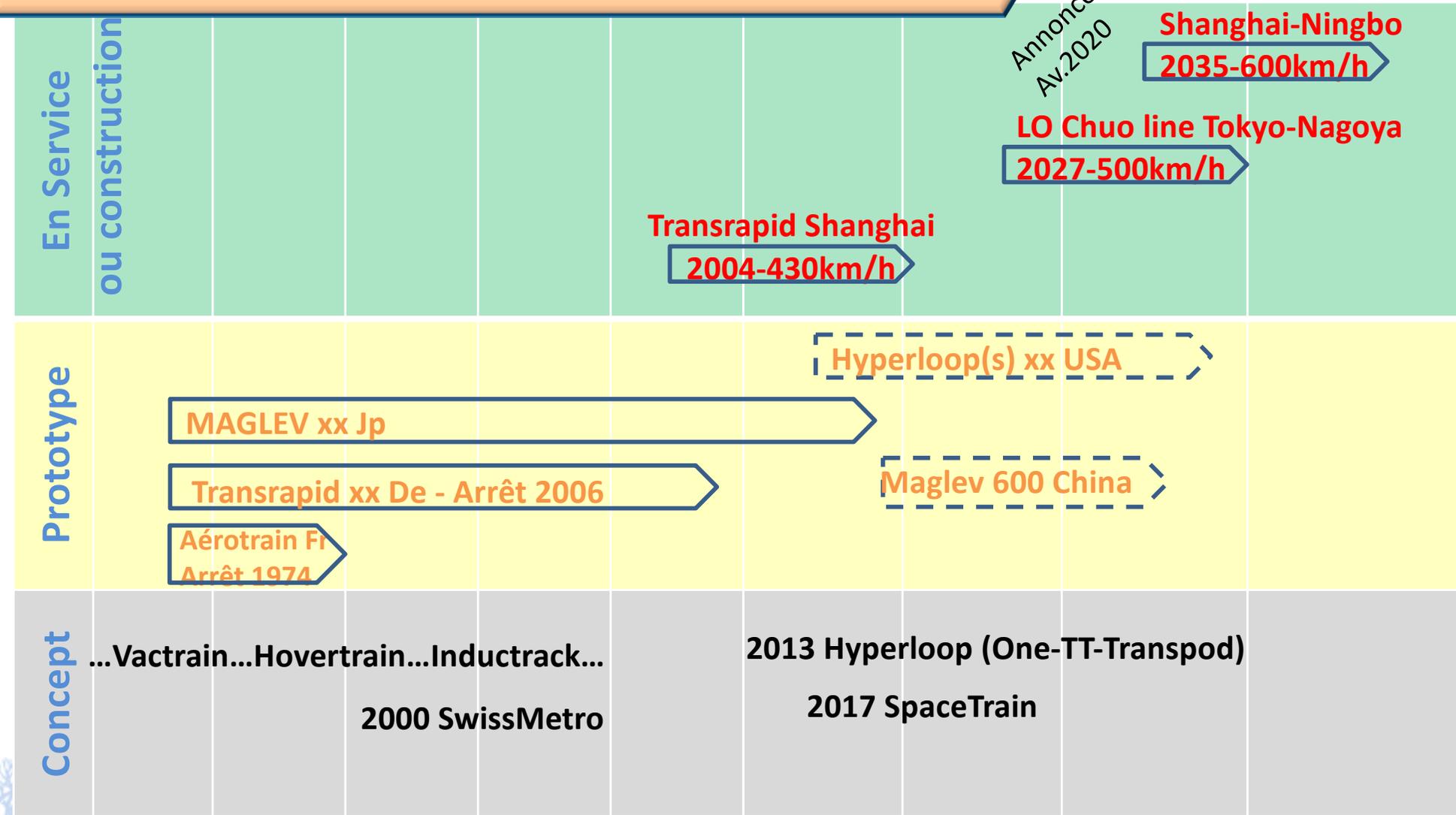


Source: RTRI 2011



Source: Spacetrain 2018

La Très Haute Vitesse depuis 1960

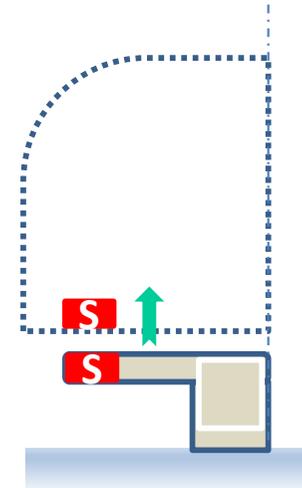
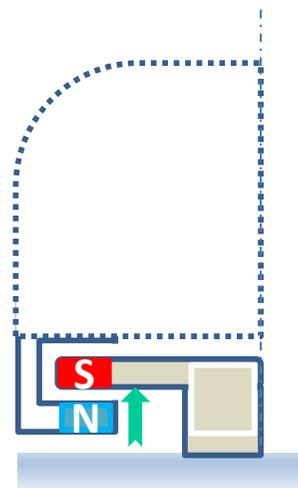
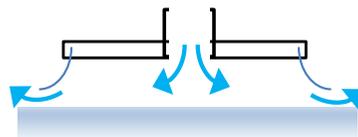
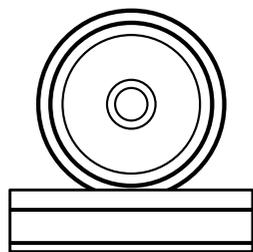
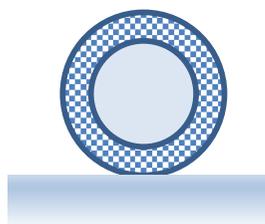


Annonce Av.2020

1960 1970 1980 1990 2000 2010 2020 2030 2040

Sustentation – Propulsion - Guidage

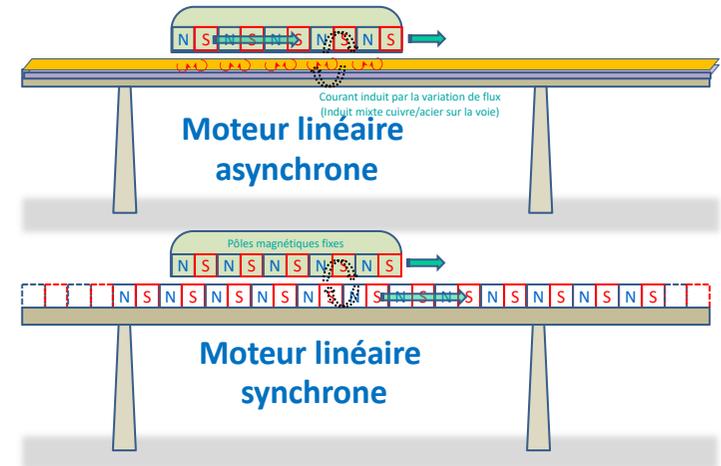
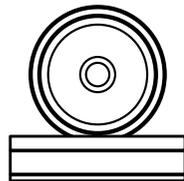
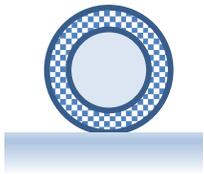
Les transports terrestres guidés 5 modes de sustentation



Pneu/chaussée	Roue/Rail	Coussin d'air	Attraction magnétique	Répulsion ou Lévitación magnétique
Capacité de sustentation statique / énergie consommée				
13t / essieu	17t (TGV) 22,5t (fret) /essieu	15kW / t	2kW / t	0 à V=0km/h Actif V>130km/h
Résistance à l'avancement				
100N / tonne	10N / tonne	10-20N / tonne	10-20N / tonne ?	10-20N / tonne ?

Sustentation – Propulsion - Guidage

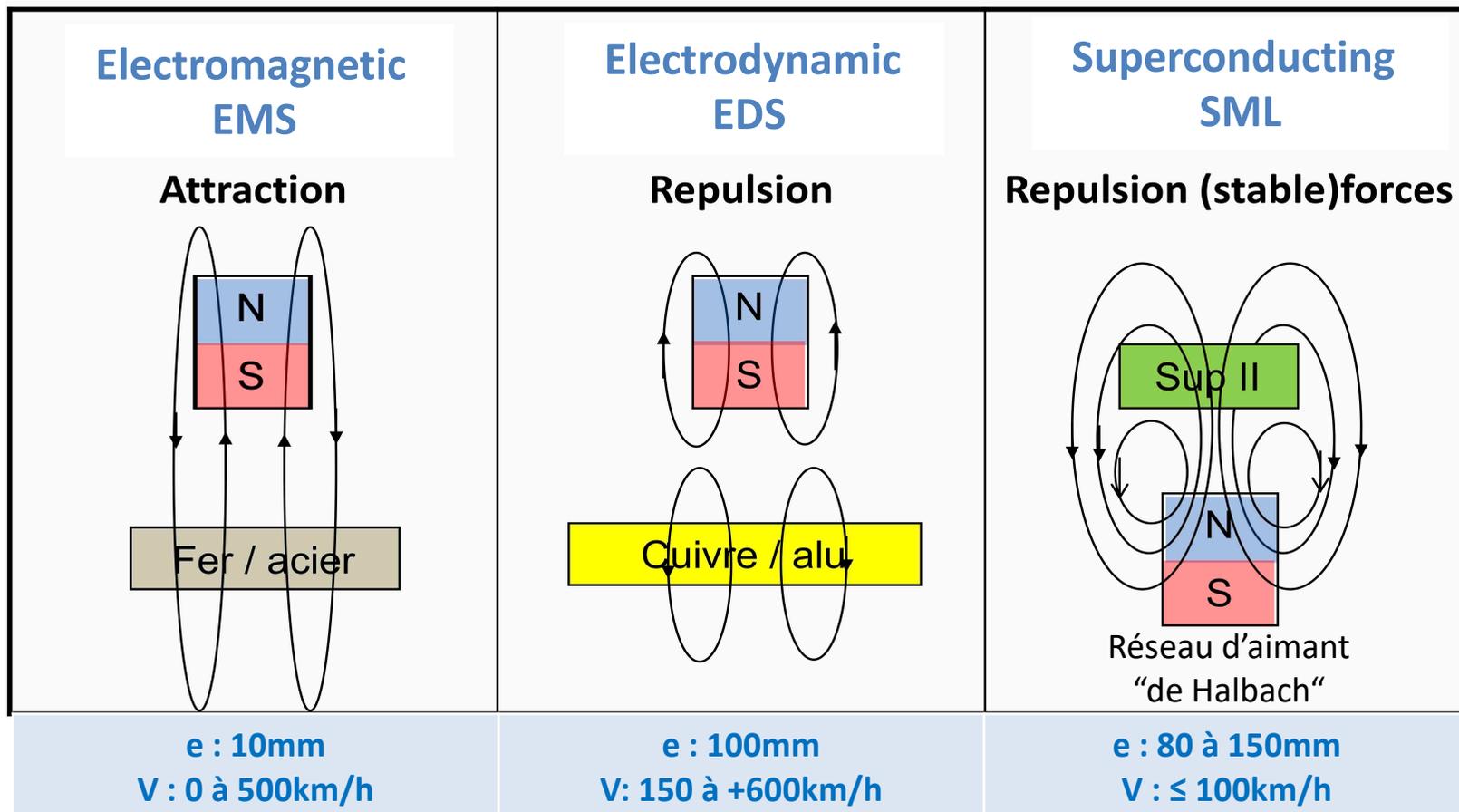
Les transports terrestres guidés 3 modes de propulsion



Contact Pneu/chaussée - Roue/Rail	Aérodynamique Sans-contact	Moteur électrique linéaire Sans-contact
Coefficient d'adhérence		
0,15 / 0,25 Roue/Rail 0,5 / 0,8 Pneu/Chaussée	Force de poussée Indépendante de l'adhérence	Force de poussée Indépendante de l'adhérence
Avantages / Inconvénients		
Guidage est associé à la roue Simplicité technologique de la voie Bon rendement de transmission Limites dues à l'adhérence (frein) Usure (Roue et bande de roulement) Emissions de particules fines Bruit de contact	L'adhérence n'a plus d'influence Pas d'usure de la voie Guidage par coussin d'air Rendement de transmission faible Pollution atmosphérique Bruit	L'adhérence n'a plus d'influence Pas d'usure de la voie Bon rendement de transmission Pas de pollution atmosphérique Bruit limité à l'aérodynamisme Guidage magnétique Technologie complexe

La Très Haute Vitesse sans contact avec la voie

La sustentation magnétique : 3 technologies possibles



Solution allemande
Transrapid 08 (Shanghai 2004)

Solution japonaise
MLX01 (Yamanashi 2000)
Chuo line 2027

Prototype basse vitesse
Pas utilisée pour la THV
(Induktrack, Cobra)

~ 1960

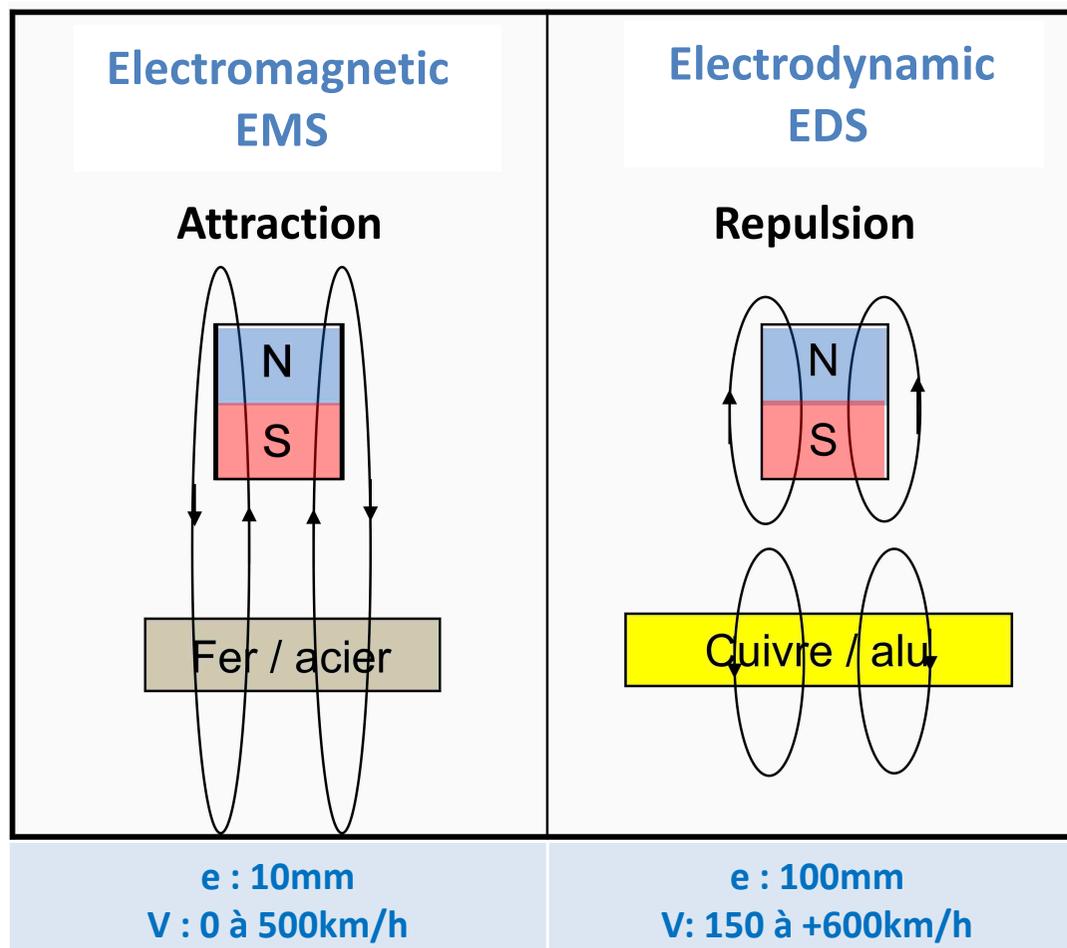
~ 1990

EDS: Electro-dynamic suspension...EMS: Electro-magnetic suspension...SML: Superconducting Magnetic Levitation...

LIM: Linear Induction Motor...LSM: Linear Synchronous Motor

La Très Haute Vitesse sans contact avec la voie

Le guidage latéral : 2 technologies possibles



EDS: Electro-dynamic suspension...EMS: Electro-magnetic suspension...SML: Superconducting Magnetic Levitation...
LIM: Linear Induction Motor...LSM: Linear Synchronous Motor

La Très Haute Vitesse : les projets annoncés

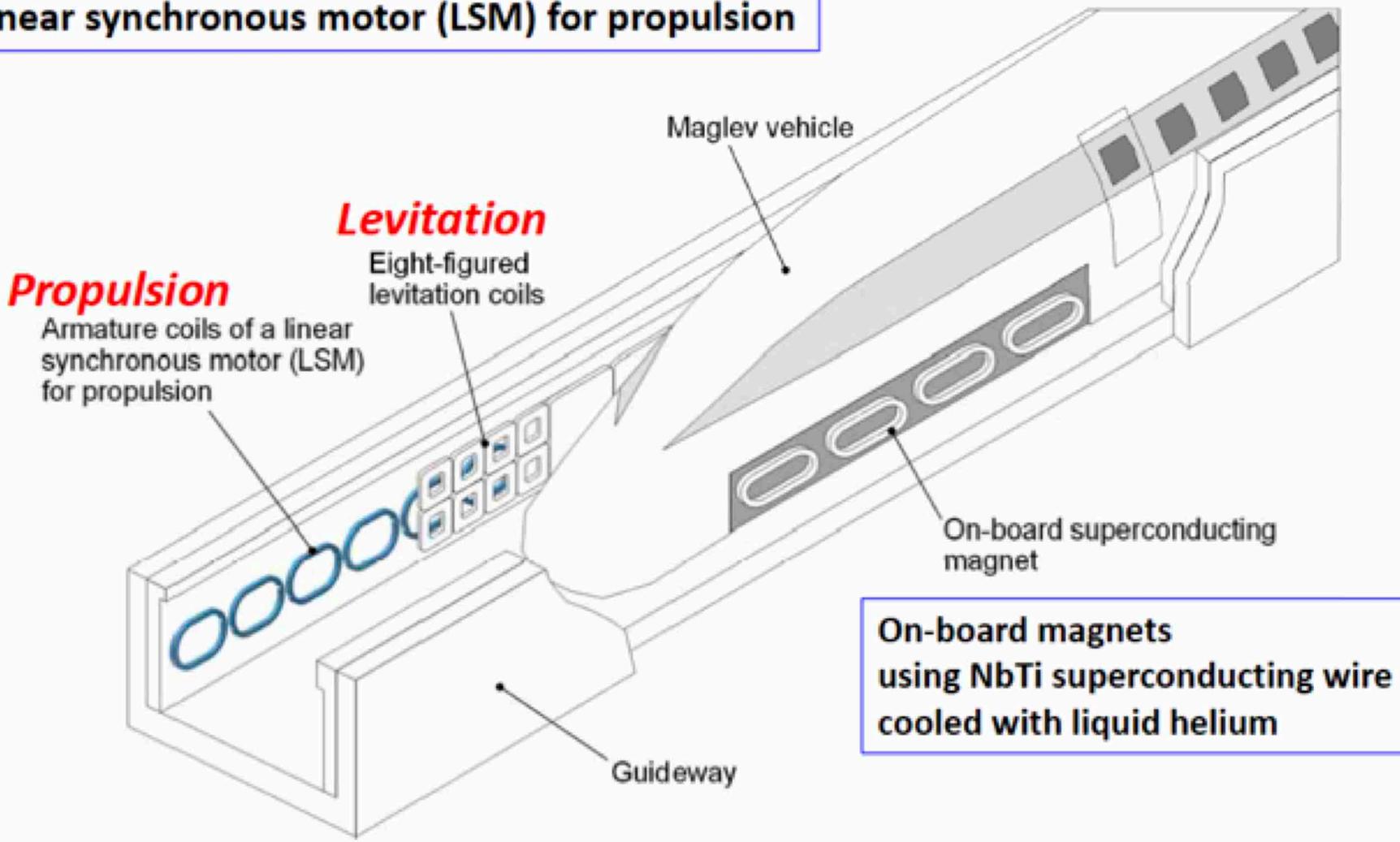
Annonce 04/20
Gouvernement
Chine

	Hyperloop TT (E.Musk)	Hyperloop One (E.Musk)	Transpod E.M-concept (S.Gendron)	Spacetrain (J.Vaucanson)	Skyway (A.Yunitsky)	Exploitation Transrapid Shanghai (Thyssen-Sie.)	Construction LO Series (Maglev) (JR Central)	Shanghai- Ningbo (CRRC Corp.)
Lancement/ Maturité/ Prévision	2013 ? 2020-30	2013 ? 2020-30	2013 ? 2020-40	2017 ? 2020-30	1970 2000	En service Depuis 2003	Constr.Ligne en cours 2027	Constr.Ligne Annonce 20 2035
Pression At. Technologie	100Pa Maglev ?	100Pa Maglev ?	100Pa Maglev ?	At. Coussin d'air	At. Maglev	At Maglev-EMS 10mm	At. Maglev-EDS 100mm	At. Maglev-EMS
Vitesse max. -exploitation (km/h)	1200 ?	1200 ?	1200 ?	720 540	500 ?	500 430	600 505	620 600
Technologie sustentation	Magnétique ?	Magnétique ?	Magnétique ?	Coussin d'air		430	505	600
Moteur linéaire	LIM 5m/s ²	LIM 5m/s ²	LIM 5m/s ²	? ?	? ?	LSM ±1m/s ²	LSM ±1m/s ²	LSM ?
Véhicule Capacité phpd	24-48 p	24-48 p	24-48 p	140p	24p 360000	446p 3 voit.	1000p 16 voit.	?
Conso.	?	?	?	?	?	81Wh/s/km	74Wh/s/km	?
Coût / km	...<30M€ ?	...<30M€ ?	30M€ ?	7M€ ??	...	100 à 200M€	117M\$	35 M\$???

EDS: Electro-dynamic suspension...EMS: Electro-magnetic suspension...SML: Superconducting Magnetic Levitation...
LIM: Linear Induction Motor...LSM: Linear Synchronous Motor

La Très Haute Vitesse : solution japonaise

Electrodynamic suspension (EDS) for levitation
Linear synchronous motor (LSM) for propulsion



Magnetic Levitation – ElectroDynamic Suspension

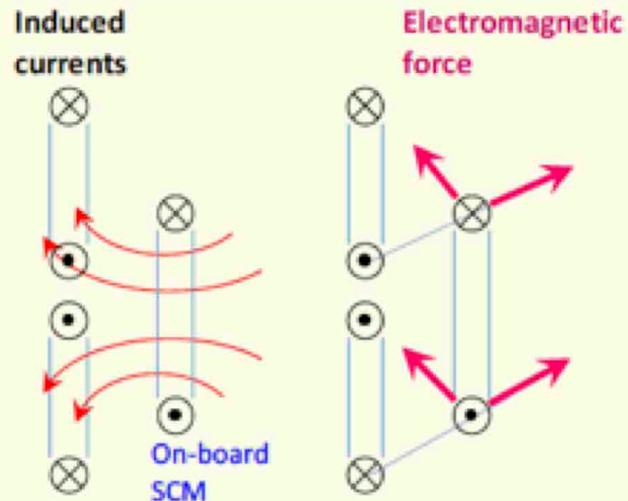
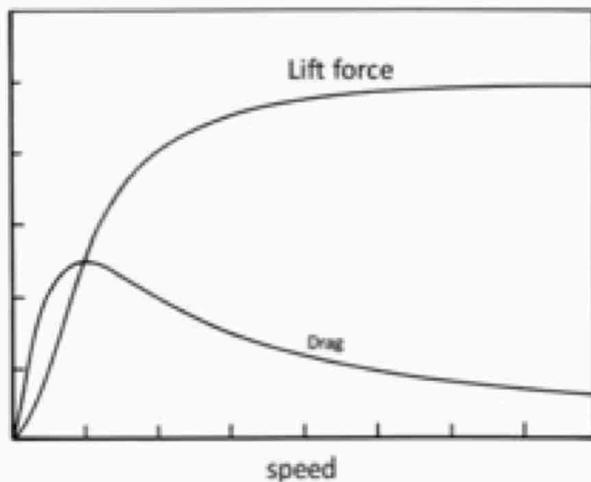
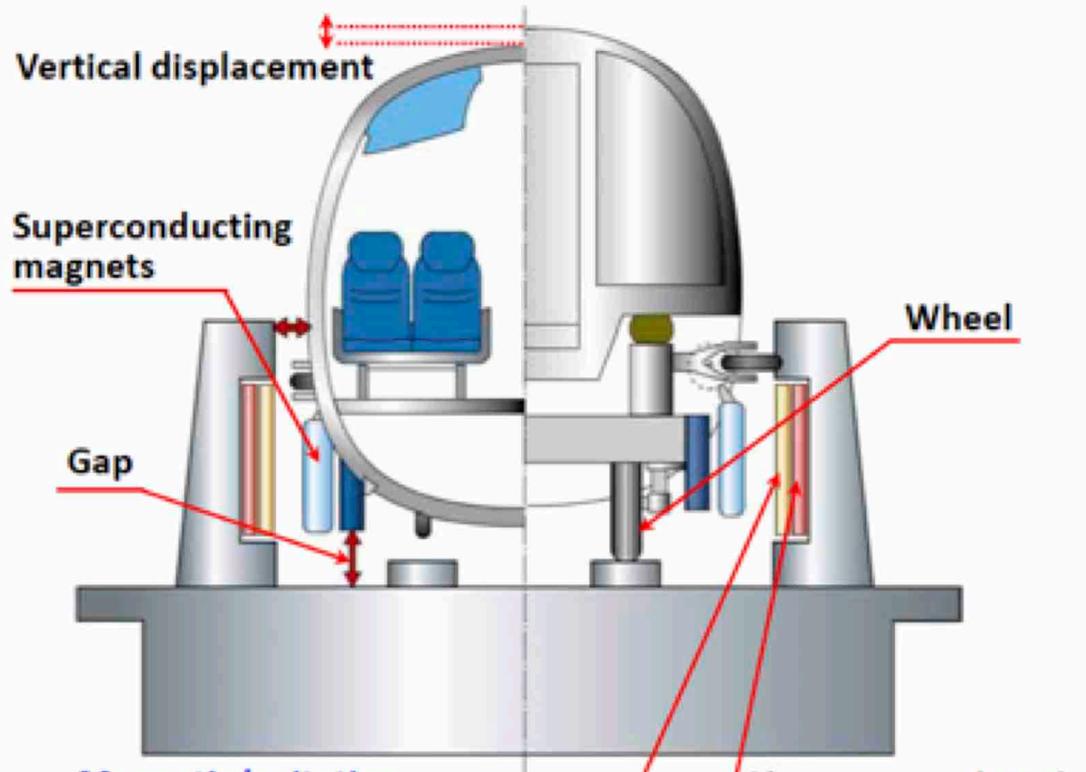


Figure-eight levitation coils on the ground **ElectroDynamic Suspension (EDS)**



Magnetic levitation at high speeds

Travel with wheels at low speeds



Magnetic levitation
Speeds > 120~130 km/h
Gap about 10 cm
No gap control

Linear motor (LSM) Armature coils
Figure-eight Levitation coils

Shanghai Maglev Transrapid Project Pudong Airport ↔ Long Yang Road Station

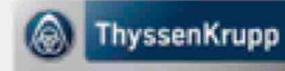


CWIEME Berlin 2013, Page 12

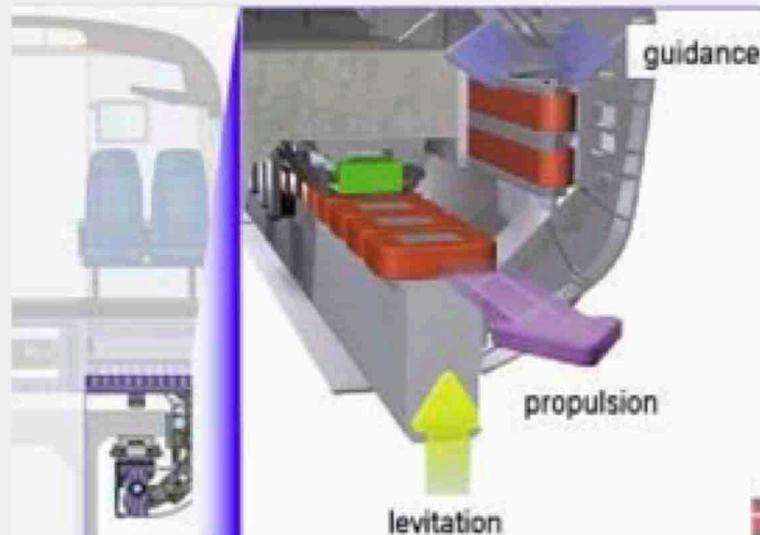
The Shanghai Maglev Case Study: Record Braking Design for the Future

The Copyright of this document and its enclosures shall remain our property. It shall neither be distributed nor given to third parties nor presented for viewing without our written permission. All information contained in this document or in relation to this document is confidential and may only be used for the purpose, for which it was disclosed by us.

ThyssenKrupp Transrapid

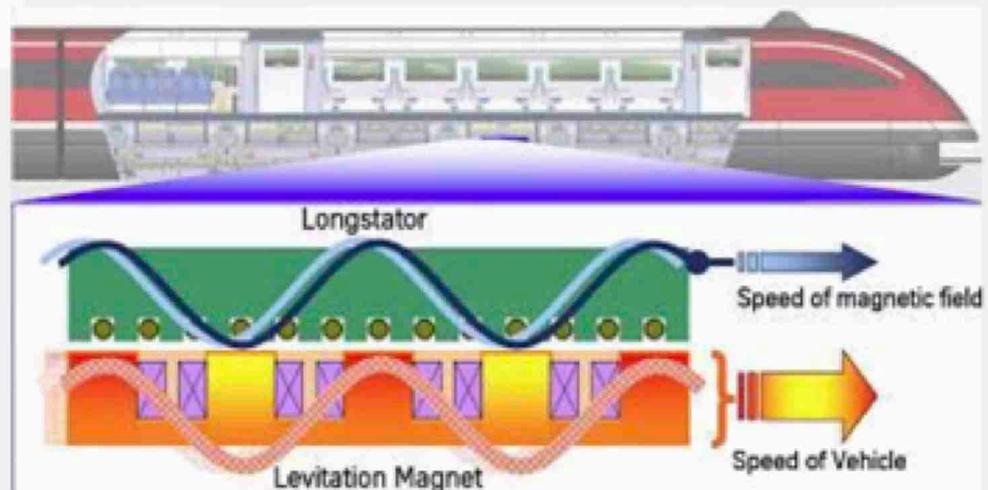


Maglev Fascination - Function of Transrapid



Levitation and guidance system in the vehicle

Long stator linear motor in the track



CWIEME Berlin 2013, Page 5

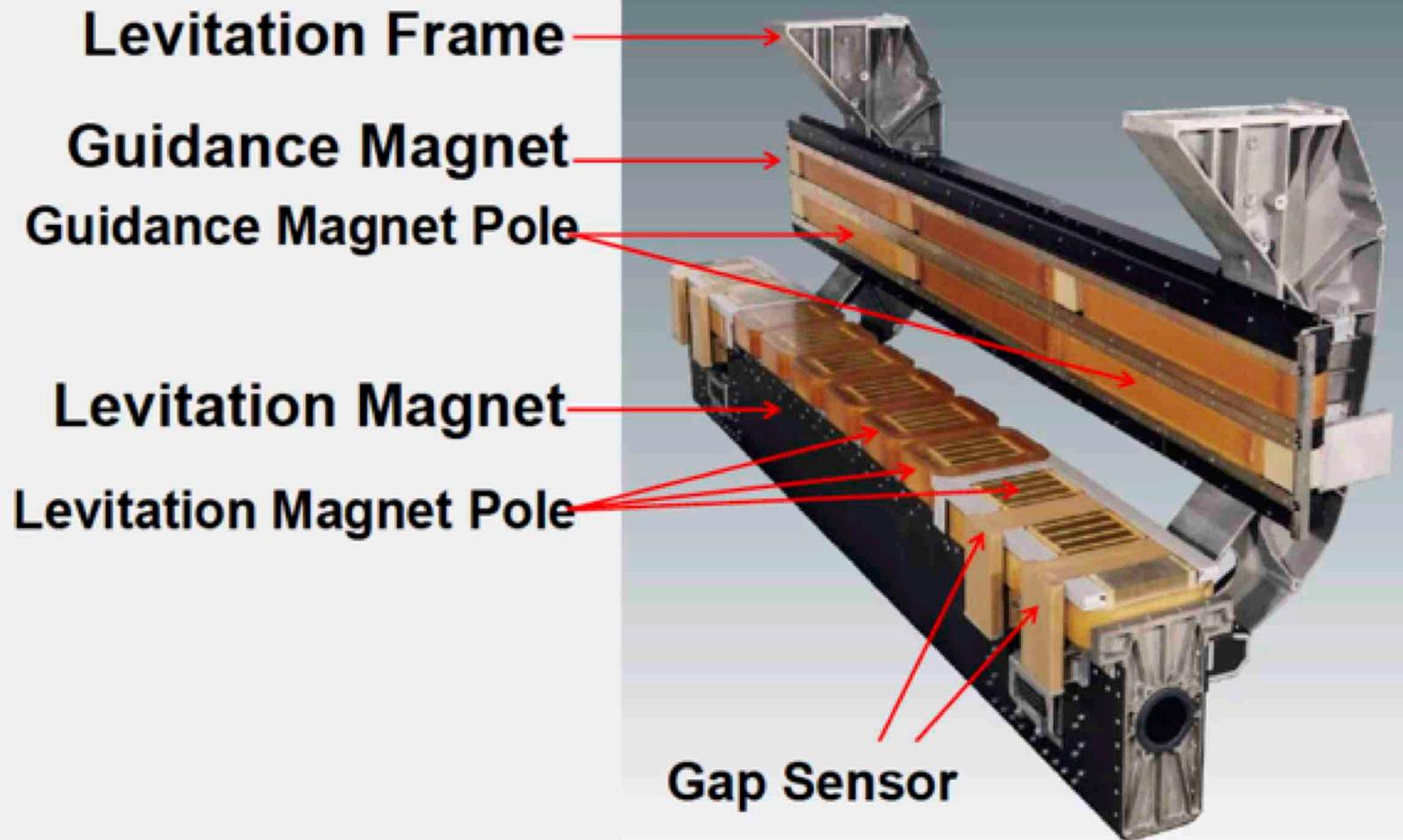
The Shanghai Maglev Case Study: Record Braking Design for the Future

The Copyright of this document and its enclosures shall remain our property. It shall neither be distributed nor given to third parties nor presented for viewing without our written permission. All information contained in this document or in relation to this document is confidential and may only be used for the purpose, for which it was disclosed by us.

ThyssenKrupp Transrapid



Transrapid Coil Technologies - Magnet Module



CWIEME Berlin 2013, Page 21

The Shanghai Maglev Case Study: Record Braking Design for the Future

The Copyright of this document and its enclosures shall remain our property. It shall neither be distributed nor given to third parties nor presented for viewing without our written permission. All information contained in this document or in relation to this document is confidential and may only be used for the purpose, for which it was disclosed by us.

ThyssenKrupp Transrapid



La Très Haute Vitesse : la technologie et les 3“Hyperloops“ Hyperloop One, Hyperloop TT, Transpod

Source: *Hyperloop Alpha, E.Musk, 2013 (58p)*

Traction: ...moteur linéaire dans la voie...lanceur 4 kms...

Sustentation: ...coussin d'air “air bearing“...10 cm

Guidage: ... ? ...coussin d'air

Tube sous vide partiel:...100 Pa (1mBar).

Coût estimé: ...capsule 24 ou 48 passagers...1,35 & 1,5 M\$
...voie-tube en élévation...13,4 M\$/km



Typical Pier Loading Assumptions

Tube dead load	2.5 tons per meter
Tube dead load safety factor	1.6
Tube dead load per 25 m segment	112.5 tons
Vehicle dead load per tube, incl safety factor	60 tons
Tube + vehicle dead load	172.5 tons
Number of tubes per pier	2
Total tube + vehicle dead load	345 tons

Source: *Preliminary basis of design, TRANSPOD, 13 jt 2017*

Traction: ...moteur linéaire dans la voie...?...

Sustentation: ...magnétique ?... ? cm

Guidage: ... ? ...magnétique

Tube sous vide partiel:...100 At.

Coût estimé: ...capsule 24 ou 48 passagers...?
...voie-tube en élévation...28,9 M\$/km

Autres sources USA...via FORBES:

Estimation du coût entre 55 et 75 M\$ / km

Mais quels sont les programmes scientifiques et technologiques ?

...quels sont les pistes d'essais et les moyens de validation expérimentale, les études de sécurité,

... 1960-2010, 50 ans d'expérimentations MAGLEV, pour décider de la ligne Tokyo-Nagoya-Osaka

Chuo Shinkansen between Tokyo and Osaka

Chuo Shinkansen operated with the superconducting maglev system between Tokyo and Osaka

The Chuo Shinkansen was planned as the Tokaido Shinkansen Bypass connecting three major metropolitan areas in Japan: Tokyo, Nagoya and Osaka.

- Almost upper limit of the passenger transport capacity of Tokaido Shinkansen
- In preparation for natural disasters (big earthquake)
- 50 years operation of Tokaido Shinkansen. Full maintenance will be needed.



Chuo Shinkansen between Tokyo and Osaka

- 2014 October The construction project was approved by the MLIT.
December JR Central started the construction between Tokyo and Nagoya.
- 2015 September Full construction of Shinagawa Station in Tokyo started. About 40 m underground below the existing Tokaido Shinkansen Shinagawa Station.

Construction of Shinagawa station, Nagoya station, and Tunnel in the South Alps of Japan.

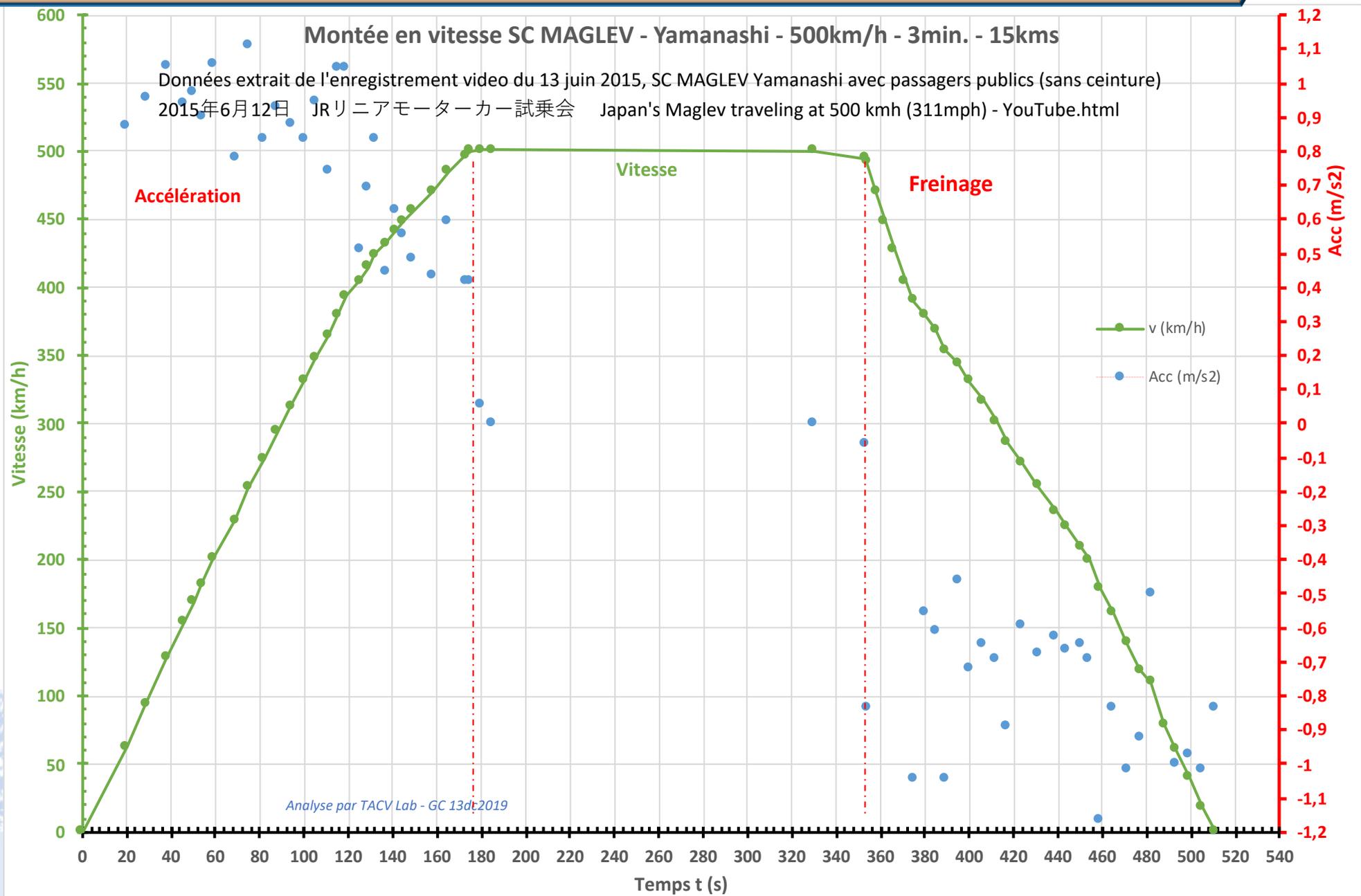
Chuo Shinkansen operated with the superconducting maglev system between Tokyo and Osaka

Shinkansen	Chuo Shinkansen (2027 -)	Chuo Shinkansen (2045 -)	Tokaido Shinkansen
Route	Tokyo - Nagoya	Tokyo - Osaka	Tokyo - Osaka
Length	286 km	438 km	515 km
Journey time	40 min.	67 min.	142 min.
Max. speed	505 km/h	505 km/h	285 km/h
Construction cost incl. train cars	5.5 trillion yen	9 trillion yen	-

In the present plan of the Chuo Shinkansen using the superconducting maglev system, about 87 % of the route between Tokyo and Nagoya is in tunnel sections.



Données relevées d'un essai SC Maglev – Yamanashi 2015



La Très Haute Vitesse et ses impacts

	Ferroviaire TGV 350 km/h max 200 km/h commercial	Maglev 500 km/h max 400 km/h commercial	Avion (1000 kms) 850 km/h max 400 km/h commercial
Coût d'investissement - infrastructure - véhicule	25 à 30Mn€/km Avec ouvrage d'art 30Mn€/rame 700s	50 à 100 Mn€/km Voie surélevée ? /rame 1000s	Aéroport ? 100Mn€/A320 220s
Coût d'exploitation (maintenance)	Rénovation voie/caténaire 15ans	Pas d'usure de contact, fatigue mécanique	Réfection piste Maintenance avion
Impact environnementaux directs	Conso. 30 à 50Wh/s Bruit roulement et aero Occupation du sol 10ha/km	70 à 100 Wh/s Aérodynamique Surface des piliers	180 à 250 Wh/s Aéroport Surface aéroport 1000 à 3000 ha
Impact environnementaux indirects	Fragmentation du territoire si voie au sol	Pas de fragmentation du territoire	Pas de fragmentation du territoire
Résilience changement climatique	Sensible si voie au sol (inondation, glisst de terrain, vent violent)	Très peu sensible en voie surélevée	Très sensible vent violent
Résilience sociétal	Mouvement sociaux (conduite autonome) Acceptabilité locale d'une infra TGV.	Pas de conducteurs Risque Champs électromagnétiques	Rôle de l'humain "Honte de prendre l'avion"

Ce que l'on sait ? des prog. Hyperloop

	Hyperloop TT (D.Ahlborn)	Hyperloop One (J.Walder – R.Branson)	Transpod (S.Gendron & R.Janzen)	Maglev China	SC Maglev Yamanashi (Japan)	Transrapid Emsland (Germany)
Prog. R&D	Matériau <i>Vibranium</i> (82 couches de carbone + IoT)	?	Moteur linéaire ?	Origine (TR-Shanghai) Améliorée pour 600km/h	Moteur linéaire Sustentation SC puissance	Moteur linéaire Lévitation SC puissance Supraconductivité
Piste d'essai	Toulouse, 300m ? puis 1km Guizhou, 10kms	Charleston, 500m,	Droux (Hte-Vienne) 1km en cours? 20Mn€		Yamashi 1997 42,8kms Rayon 8000m Pente 40‰ 603km/h	Emsland 1984-2008 31,5kms 2 rayons 1700m & 100M 500km/h
1er ligne	Divers	Riyadh-Je, 35kms (Arabie Saoudit)	2025, Edmonton-Calgary, 300kms	? Shanghai-Hangzhou, 164kms	2027, Tokyo-Nagoya 286kms 505km/h	2004, Pudong-Shanghai, 30,5kms, 430km/h

Lévitation...Sustentation - Magnétique

Proposition de synthèse

Le transport guidé peut disposer de nouvelles technologies, ...matériaux, électronique, communication,... conçues pour l'aéronautique, ...pour l'automobile.

Le contact roue/rail reste le plus performant en terme de résistance à l'avancement. Mais son coefficient d'adhérence, faible et changeant, et les usures de contact limitent son usage à $V > 350 \text{ km/h}$, **si la très grande vitesse est réalisée, elle sera sans contact avec la voie.**

Les systèmes électroniques de reconnaissance d'obstacle, de localisation, de communication haut débit, permettent une nouvelle valorisation du transport guidé, **le sans-contact offre: automatisation, capacité élevée, sans pollution atmosphérique et une acoustique réduite pour l'urbain-suburbain.**

Le critère temps de transport c'est le "porte à porte", où la vitesse commerciale.

La Grande Vitesse 500km/h "MAGLEV", permet 400km/h en exploitation du type navette, ...une alternative à l'avion sur des distances de 1000km

...exemple d'un projet franco-allemand à débattre, "3h pour rejoindre les centres-villes sur Paris-Bruxelles-Berlin",

...le critère environnement, respect de la vie du territoire (voie surélevée), résilience aux contraintes climatiques, le sociales et le sanitaires deviennent des contraintes prioritaires.

Travelling on earth level without ground contact : a dream...

Merci de votre attention



source: L'Alas des trains de légende Ed. Glénat juillet 2001

TRAIN À SUSTENTATION ÉLECTRIQUE BACHELET

(Year 1933)