

Note n° **5** — **Le transport à hypergrande vitesse sous vide (Hyperloop)** — juillet 2018



Concept en 3D d'un véhicule à grande vitesse circulant dans un tube  
Malp © Adobe Stock (n° : 169 405 186)

### Résumé

- Depuis le livre blanc d'Elon Musk en 2013, plusieurs projets industriels d'« Hyperloop », capsules pressurisées circulant dans un tube sous vide, sont en cours de développement. Ils affichent une triple promesse : vitesse extrême (plus de 1 000 km/h), empreinte écologique réduite et faible coût.
- Les progrès de ce nouveau mode de transport sont rapides mais les défis immenses : technologie, modèle économique, impact environnemental et aménagement du territoire.
- Si cette technologie doit encore faire ses preuves, elle ne doit être ignorée ni par les entreprises, ni par les collectivités publiques, pour ses enjeux en termes de recherche, de propriété intellectuelle, de réglementation ou de potentialités économiques et humaines.

M. Cédric VILLANI, Député, Premier vice-président

En 2013 <sup>(1)</sup>, **Elon Musk**, le P.-D.G. de SpaceX et Tesla, a spectaculairement relancé l'idée, qu'il a alors dénommée « Hyperloop » <sup>(2)</sup>, de capsules pressurisées circulant sur coussin d'air dans un tube à basse pression à une vitesse proche de celle du son <sup>(3)</sup>. Ces capsules pourraient transporter des marchandises ou des passagers avec une fréquence élevée. Selon ses estimations, les coûts d'infrastructure d'une ligne San Francisco–Los Angeles seraient divisés par dix (6 milliards de dollars) par rapport à une ligne ferroviaire à grande vitesse (LGV) et le trajet pourrait être effectué en 30 minutes avec un billet ne coûtant que 20 dollars.

Depuis 2013, les projets de trajets sont annoncés sur les cinq continents, à la demande des autorités publiques locales, ainsi par exemple en Californie, au Canada, aux Émirats arabes unis, en Inde, en Europe du Nord ou de l'Est et, tout récemment, en France.

Quels sont les enjeux de cette technologie de rupture, que l'on pourrait dénommer génériquement « transport à hypergrande vitesse sous vide – THV » ? Quel est son degré de maturité technologique ? Cela modifiera-t-il l'aménagement du territoire à l'échelle nationale, voire continentale ? Les trains à grande vitesse (TGV), dont les premiers datent de 1981, sont-ils maintenant dépassés <sup>(4)</sup> ? Le transport aérien court et moyen-courrier restera-t-il compétitif ?

Certains évoquent un « miroir aux alouettes », une « chimère », voire un « leurre », sur les plans technologique, économique et social. La technologie ne serait pas suffisamment mature, ses coûts réels seraient exorbitants et son utilité contestable.

Après le Schéma national des infrastructures de transport (SNIT), élaboré en 2011 à la suite du Grenelle de l'environnement, après les Assises de la mobilité, organisées au 3<sup>e</sup> trimestre 2017 sous la responsabilité d'Élisabeth Borne, ministre chargée des transports, et avant les choix structurants qui sont en cours pour préparer le projet de loi d'orientation sur les mobilités (LOM), prévu au début 2019, et la programmation budgétaire subséquente des financements des infrastructures de transport, il convient d'analyser en détail les potentialités et les limites du THV.

#### ■ Les projets de véhicule à grande vitesse circulant dans un tube

Nombreux ont été les rêves de **science-fiction** en la matière, ainsi ceux de Jules Verne en 1860 dans *Paris au XXI<sup>e</sup> siècle* ou en 1889 dans *Au XXIX<sup>e</sup> siècle ou La journée d'un journaliste américain en 2889* <sup>(5)</sup>.

Le THV s'inscrit dans un contexte également caractérisé par un grand nombre de projets de trains sur coussin d'air ou à sustentation magnétique. Si, en Chine, le train à sustentation magnétique **Transrapide Maglev**, qui relie le centre-ville à l'aéroport de Shanghai, est en service depuis 2004, cela n'a jamais été le cas, en France, de l'**Aérotrain** sur coussin d'air de l'ingénieur Bertin, abandonné en 1974 et dont il reste 20 km de voie d'essai à monorail en béton près d'Orléans. Pas plus que les trains à sustentation magnétique **Transrapide** en Allemagne ou **Swissmetro** en Suisse. Le Japon développe actuellement le **SCMaglev** (*Superconducting Magnetic Levitation*), à horizon... 2027 pour le premier tronçon. La vitesse maximale de ces trains

plafonne à environ 600 km/h, pour une vitesse d'exploitation comprise entre 300 et 450 km/h.

Dans ce contexte incertain, les projets ont été spectaculairement relancés à la suite de l'initiative d'Elon Musk. Ce dernier n'a pas déposé de brevet mais organise, chaque année depuis 2015, un concours des meilleurs projets universitaires ; 20 universités des continents américain, européen et asiatique ont été sélectionnées en vue de l'attribution du prix le 22 juillet 2018 <sup>(6)</sup>. Elon Musk a également créé en 2016 **The Boring Company**, une entreprise qui porte le projet d'un métro THV souterrain qui connecterait les principales villes du nord-est des États-Unis (New-York, Washington...). Les autorisations réglementaires sont en cours de demande. Mais Elon Musk n'investit dans aucun des quelque douze projets industriels de THV, qui se développent dans un climat de compétition vive et de course aux investisseurs. Les trois principales jeunes entreprises sont :

- **Virgin Hyperloop One** (VH1) <sup>(7)</sup>, en Californie, qui a mobilisé le plus de fonds (280 millions de dollars), avec l'entrée récente à son capital de Richard Branson et qui est soutenue également par la SNCF ;

- **Hyperloop Transportation Technologies** (HTT) <sup>(8)</sup>, aussi en Californie, sur le modèle original de production participative (*crowd-sourcing*), avec une communauté de chercheurs et d'ingénieurs dans le monde entier rémunérés en options sur titres (*stock-options*) ;

- et **TransPod** <sup>(9)</sup>, au Canada, cofondée par le Français Sébastien Gendron avec, notamment, un apport de capitaux italiens.

Ces deux dernières entreprises ont tout récemment entrepris, avec l'aide des collectivités territoriales et de l'État, d'implanter leur centre de recherche européen et une piste d'essais, près de Toulouse et près de Limoges.



Source : Transpod.

Trois plus petites entreprises sont européennes : Hardt (Pays-Bas), Zéleros (Espagne) et Hyper (Pologne).

### ■ Les défis technologiques

Les principales briques technologiques nécessaires au THV existent déjà, l'enjeu majeur étant de les intégrer. Très peu de documents sont publiés sur les technologies, pour des raisons de concurrence et de propriété

intellectuelle (brevets Inductrack, JetGlide, Quantum Power...). Les trois principales jeunes entreprises interrogées, dans le cadre d'un accord de confidentialité avec l'Office, ont expliqué que des progrès considérables avaient été réalisés depuis le livre blanc d'Elon Musk, *a fortiori* par rapport aux générations précédentes des très coûteux trains Maglev <sup>(10)</sup>.

Tous les projets reposent sur des **fondamentaux** similaires : deux tubes sous faible pression d'air (100 Pa) sur des pylônes ; pilotage automatique centralisé où toutes les capsules circulent à la même vitesse ; capsules aveugles <sup>(11)</sup> transportant de 20 à 40 passagers (ou quelques dizaines de tonnes de marchandises) ; fréquence d'une capsule toutes les 30 à 80 secondes ; aiguillages avec rampes de lancement ; gares complexes pour permettre des départs fréquents.

Toutes les entreprises travaillent sur une **sustentation magnétique** et une propulsion à moteur linéaire à induction, mais les variantes sont importantes : sustentation magnétique active ou passive, propulsion continue ou non, batteries embarquées ou énergie au sol, aimants permanents ou pas...

Les plus **grands défis** sont résolus ou en passe de l'être, selon les entreprises interrogées, avec des options techniques variées :

- la dissipation de l'énergie cinétique des capsules par réduction de l'empreinte thermique <sup>(12)</sup>, récupération au freinage et évacuation par la piste, la capsule et le vide à l'intérieur du tube ;

- le tracé des routes, où une optimisation économique serait réalisée au cas par cas entre vitesse (plus la durée de parcours sera courte, plus le transport sera attractif et donc rentable) et coût (une ligne droite nécessite tunnels et viaducs) <sup>(13)</sup> ;

- une accélération et une décélération normales entre 0,1 et 0,3 g, pour ne pas incommoder les passagers <sup>(14)</sup> ;

- des champs magnétiques qui contournent les capsules pour ne pas exposer les passagers ;

- un dispositif de stabilisation des capsules tenant compte des imperfections, même infimes, du tube ;

- les problèmes de perturbations à l'approche de la vitesse du son (limite de Kantrowitz) ;

- la gestion du vide par une étanchéité très contrôlée et par une optimisation des systèmes de pompage ;

- des tubes en alliage métallique avec des joints de dilatation réguliers ;

- des pylônes aux propriétés antisismiques ;

- des dispositifs de sécurité hérités de l'aviation ou des chemins de fer, avec des scénarios d'urgence en cas de repressurisation rapide du tube (sas, évacuation des passagers...).

### ■ Quel horizon de temps crédible pour le déploiement ?

Selon les informations publiques, Hyperloop Transportation Technologies vise une première mise en service entre Al-Aïn et Abu Dhabi (Émirats arabes unis) dès le début des années **2020**<sup>(15)</sup>. Virgin Hyperloop One, pour sa part, a signé avec l'État du Mahārāshtra (Inde) un accord-cadre pour construire une ligne entre Pune et Mumbai, que des passagers pourraient utiliser d'ici le **milieu des années 2020**. Transpod, enfin, soutient qu'elle pourra transporter des passagers au début des années **2030**, après une première utilisation de son dispositif pour le transport de marchandises légères.

### ■ Les coûts du THV

Les chiffrages initiaux d'Elon Musk sont questionnés. Certaines jeunes entreprises interrogées estiment maintenant que l'infrastructure d'une ligne de THV coûterait entre **60 % et 100 % de celle d'une LGV**. La géographie de chaque trajet est différente, avec des tunnels et des viaducs qui peuvent conduire à quadrupler les coûts de construction. Pour mémoire, une LGV coûte en France environ 20 millions d'euros le km.



Source : Virgin Hyperloop One.

Mais plus que sur les dépenses d'infrastructure (CAPEX), c'est sur les **dépenses d'exploitation** (OPEX) que l'écart se creuserait. Les jeunes entreprises développant le THV estiment que leurs OPEX seraient nettement inférieures à celles des LGV : absence de friction (vide et sustentation magnétique), occasionnant consommation d'énergie et fatigue mécanique réduites ; protection contre les intempéries (neige...) ; automatisation.

Aujourd'hui, seule la LGV Paris-Lyon est rentable financièrement. Les LGV construites ensuite n'ont été rentables qu'en termes socio-économiques (en intégrant les gains de temps et les bénéfices environnementaux). La plupart des LGV aujourd'hui en projet ne sont pas rentables en termes socio-économiques et encore moins financièrement. En comparaison, les jeunes entreprises qui développent le THV estiment le **retour sur investissement** de leurs lignes **entre 8 et 11 ans**. Le prix du billet resterait inférieur (ou égal) à celui d'une LGV.

### ■ Les enjeux écologiques

Le THV étant alimenté électriquement, il n'émet **pas de CO<sub>2</sub>** en exploitation, dans un contexte où le réchauffement climatique tend à augmenter le prix de la tonne de CO<sub>2</sub>.

Quelque 70 % de la consommation d'énergie d'une LGV sont dus aux frictions (air et roues) : les concepteurs du THV estiment que la **consommation d'énergie** en fonctionnement pourrait même être inférieure à la production d'énergie renouvelable qui résulterait de la pose de panneaux solaires, voire d'éoliennes ou d'unités de géothermie.

En comparaison des nuisances sonores de l'avion et du train, le THV présenterait un **très faible niveau sonore**, que l'un de ses concepteurs estime à celui d'un avion à 50 km d'altitude. Cela permet d'envisager, pour une ligne sur pylônes avec deux tubes, un corridor d'une largeur de seulement 10 m.

Le THV **décongestionnerait** les routes (embouteillages, pollution) et représenterait une alternative plus respectueuse de l'environnement que l'avion pour les vols courts et moyens-courriers. Il absorberait une partie du trafic aérien mondial qui, depuis 1945, double tous les 15 ans.

### ■ Enjeux économiques et sociaux

Les économistes des transports posent la question de **l'utilité de la vitesse**. D'un côté, des transports plus rapides font gagner du temps, qui devient la ressource rare du monde contemporain. Ils permettent de rapprocher les territoires, par exemple autour d'une grande métropole, en développant l'activité économique, en désenclavant les zones rurales et en accroissant l'accès au travail. Ils permettent une circulation plus fluide des personnes et des idées, facteur de progrès. Ils libèrent du temps pour le travail mais, aussi, les relations sociales, les loisirs et améliorent ainsi la qualité de vie.

Ivan Illich, dans les années 1970<sup>(16)</sup>, a contesté l'utilité sociale de la vitesse, en développant la notion de « vitesse généralisée », qui intègre à la vitesse physique les coûts individuels et sociaux rapportés au pouvoir d'achat<sup>(17)</sup>. Ces coûts sont d'abord le prix des billets. On constate historiquement que, plus les durées et prix au kilomètre baissent, plus les personnes multiplient leurs trajets et, donc, leurs temps et leurs dépenses de transport... Ces coûts sont aussi composés des coûts collectifs pour la société : subventions publiques aux transports collectifs, dans un contexte de raréfaction des deniers publics ; coûts environnementaux (CO<sub>2</sub>, bruit...) et énergétiques ; et coûts sociaux. Le risque existe de créer un système de transports à deux vitesses – sans jeu de mots – où les plus rapides sont réservés aux plus riches (le Concorde en a été un exemple), avec une montée des inégalités.

Une LGV peut supporter un trafic maximum de

12 000 personnes par heure ; avec les nouvelles rames TGV, il sera possible d'aller jusqu'à 15 000. Une capsule de THV de 40 personnes toutes les 30 secondes permet un débit maximal de 4 800 voyageurs aux heures de pointe. Même sous ces hypothèses limites, le **débit** du THV resterait donc encore trois fois moindre que celui d'une LGV.

Par contre, le THV permet un transport à la demande très agile : pas de nécessité de réserver, dès qu'une capsule est pleine, elle peut partir. Culturellement, il s'insère dans l'« **économie du partage** » (*shared economy*) aux côtés du covoiturage, de l'autopartage ou même du vélopartage.

Le THV répond parfaitement à la croissance attendue des besoins de transport du commerce électronique, avec des envois prioritaires personnalisés. Des opérateurs comme DHL, DP World<sup>(18)</sup> ou Amazon ont déjà marqué leur intérêt. La vitesse de livraison permet de réduire les coûts de stockage.



Source : Hyperloop Transportation Technology.

Du point de vue de l'**aménagement du territoire**, les questions sont nombreuses. Le THV permettrait théoriquement de rapprocher les banlieues des centres-villes : avantage d'un meilleur accès au travail ou inconvénient de cités-dortoirs ? Contrairement à ce que pensent nombre d'élus locaux, les économistes ont montré que la baisse des coûts de transport a favorisé la concentration urbaine<sup>(19)</sup>.

Si le THV semble bien adapté aux pays-continentaux comme les États-Unis ou l'Inde, qu'en est-il pour les petits pays européens déjà équipés de LGV ? L'utilité pourrait se trouver dans les liaisons entre capitales ou métropoles européennes, ou entre aéroports. Mais les liaisons entre métropoles sans arrêts intermédiaires se feraient-elles au détriment des territoires traversés ?

Les projets de THV n'ont pas vocation à se substituer aux autres modes de transport, notamment LGV et liaisons aériennes. Au-delà de 1 000 km, notamment pour les trajets nécessitant de traverser la mer, l'avion reste compétitif. Même si certaines lignes de THV courtes sont possibles, en deçà de 400 km, le train présente un avantage certain en raison de la plus faible différence de durée et de l'accès aux centres-villes qu'il permet sans rupture de charge. C'est bien l'une des difficultés du THV, à savoir qu'il sera très difficile, voire impossible, de construire des lignes

dans les grandes métropoles jusqu'aux centres-villes, en raison de la difficulté et du coût des expropriations nécessaires. La réponse proposée est le raccordement des lignes de THV à des pôles multimodaux – aéroport, métro ou RER –, afin de relier les centres-villes en moins de 30 minutes sans rupture de charge.

## ■ Conclusions

La **technologie** de THV **s'est énormément développée en cinq ans**, depuis le livre blanc d'Elon Musk. Mais, on l'a vu, plusieurs objectifs initiaux (vitesse, coûts...) ont été réduits.

La **France**, pays pionnier en aviation et en LGV, doit veiller à **développer ses capacités de R&D et d'innovation**, publique comme privée, dans ce secteur dont les enjeux de propriété intellectuelle peuvent être importants. L'hypothèse d'une réussite de cette technologie ne peut pas être exclue à cette date, même s'il serait prudent d'attendre le bilan – technologique et économique – des premières réalisations, annoncées au début des années 2020 (vitesse, fiabilité, coûts, sécurité...), avant d'engager des financements importants dans le cadre de la programmation en cours des investissements publics d'infrastructures de transport, structurante pour les prochaines décennies. À ce stade, **cette technologie prometteuse doit encore faire ses preuves**.

Le **cadre réglementaire français et européen** gagnerait à être adapté rapidement au THV. Si nombre de normes techniques ou de sécurité relatives aux transports ferroviaires ou aériens peuvent être déclinées pour le THV, il reste à réaliser un important travail de complément et d'intégration pour pouvoir, le cas échéant, certifier ce nouveau mode de transport. Pour ce faire, l'Établissement public de sécurité ferroviaire (EPSF) et l'Agence de l'Union européenne pour les chemins de fer (ERA) devraient voir leurs compétences étendues à tous les transports guidés. Un groupe d'experts pourrait être mis en place, avec les entreprises développant le THV qui le souhaitent, avec des organismes privés de certification, voire avec la Commission européenne, afin de commencer dès maintenant à travailler sur les caractéristiques réglementaires relatives au THV. Cette démarche faciliterait l'évaluation des risques par les agences de sécurité (EPSF, ERA) et, *in fine*, la certification européenne de ce nouveau mode de transport, s'il voit le jour, plutôt que devoir importer, un jour, des normes qui auraient été définies dans d'autres pays.

Enfin, un **site de développement européen** pourrait être créé, par exemple en réaménageant l'**ancienne ligne d'Aérotrain**, près d'Orléans, où tous les acteurs pourraient tester leurs produits, avec une possible convergence ou interopérabilité des infrastructures.

Sites internet de l'Office :

<http://www.assemblee-nationale.fr/commissions/opepst-index.asp>

<http://www.senat.fr/opepst/>

## Experts et scientifiques consultés

---

M. Marcel VAN DE VOORDE, professeur à l'université technologique de Delft, Pays-Bas, membre du conseil scientifique de l'Office

M. Dominique BUREAU, président du conseil scientifique des économistes de la Société du Grand Paris (SGP), ingénieur général des ponts, des eaux et des forêts, délégué général du Conseil économique pour le développement durable (CEDD), président de l'Autorité de la statistique publique

M. Alexandre CADAIN, cofondateur et chief executive officer (CEO) d'ANIMA.ai

M. Yves CROZET, professeur à l'université de Lyon (IEP), laboratoire aménagement économie transports (LAET)

M. Rob FERBER, VP chief engineer, Mme Diana ZHOU, directrice de la stratégie de projet et chef de cabinet, Virgin Hyperloop One

M. Sébastien GENDRON, chief executive officer (CEO) et cofondateur, M. Ryan JANZEN, chief technology officer (CTO) et cofondateur, M. Thierry BOITIER, directeur Business Development de Transpod

M. Pierre IZARD, directeur général délégué système & technologies ferroviaires, M. Fabien LETOURNEAUX, adjoint programmes système à la direction système et technologie, et Mme Laurence NION, conseillère parlementaire du groupe, SNCF

M. Laurent JARSALE, vice-président plate-forme Mainlines, M. Stéphane KABA, directeur développement commercial grande vitesse, Mme Julie MOREL, directrice stratégie, et M. Damien CABARRUS, responsable affaires publiques France, Alstom

M. El Miloudi EL KOURSI et M. Joachim RODRIGUEZ, Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR) de Villeneuve d'Ascq

M. Jean-Claude RAOUL, ancien conseiller technique de la Fédération des industries ferroviaires, ancien membre du conseil d'administration de Swissmetro et ancien directeur de l'Association européenne pour l'interopérabilité ferroviaire (AEIF), qui est devenue l'Agence de l'Union européenne pour les chemins de fer (European Union Agency for Railways – ERA), M. Michel LAROCHE, ancien directeur général adjoint recherche et technologie, Safran, et Mme Muriel BEAUVAIS, membre de l'équipe permanente, Académie des technologies

M. Alexandre ZISA, responsable à Toulouse, M. ANDRES DE LEON, chief operating officer (COO), Hyperloop Transportation Technology

## Contributions

---

Académie des technologies

Service pour la science et la technologie et service économique régional de l'ambassade de France aux États-Unis

## Références

---

<sup>(1)</sup> Livre blanc « Hyperloop Alpha » : [http://www.spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop\\_alpha-20130812.pdf](http://www.spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop_alpha-20130812.pdf)

<sup>(2)</sup> En anglais, « hyper-loop » signifie « super-boucle ». Depuis, le nom « Hyperloop » a été déposé comme marque commerciale par plusieurs entreprises. Dans cette note, il est proposé de dénommer génériquement cette technologie « transport à hyper-grande vitesse sous vide », avec l'acronyme « THV ». Ce dernier acronyme est également une marque déposée en France et en Europe, pour des produits pharmaceutiques et médicaux (cf. base de données des marques de l'INPI), mais cela n'interdit pas de l'utiliser dans un autre contexte.

<sup>(3)</sup> Environ 1 200 km/h aux conditions environnementales habituelles.

<sup>(4)</sup> Sachant que les « TGV du futur » ne prévoient pas d'augmentation de la vitesse (320 km/h en moyenne commerciale), mais seulement une baisse de 30 % des coûts d'exploitation, l'utilisation d'une énergie verte (pile à combustible, hydrogène), une meilleure qualité de service, une autonomie et une numérisation.

<sup>(5)</sup> En 1860, dans Paris au XXI<sup>e</sup> siècle, avec un « Railway » (sic) circulant sur un viaduc au-dessus des rues parisiennes avec tube, air comprimé et force électromagnétique, ou en 1889 dans *Au XIX<sup>e</sup> siècle ou La journée d'un journaliste*

---

américain en 2889, avec des « aérotrains » (sic) circulant à 1 500 km/h dans des tubes pneumatiques : « S'ils se souvenaient du défectueux fonctionnement des paquebots et des chemins de fer, [...], quel prix les voyageurs n'attacheraient-ils pas aux aérotrains, et surtout à ces tubes pneumatiques, jetés à travers les océans, et dans lesquels on les transporte avec une vitesse de 1 500 km/h ? »

<sup>(6)</sup> Hyperloop Pod Competition : <http://www.spacex.com/hyperloop>

<sup>(7)</sup> Virgin Hyperloop One : <https://hyperloop-one.com/>

<sup>(8)</sup> Hyperloop Transportation Technology : <http://www.hyperloop.global/>

<sup>(9)</sup> TransPod : <https://transpod.com/fr/>

<sup>(10)</sup> Coût d'infrastructure d'environ 100 millions de dollars le kilomètre.

<sup>(11)</sup> Avec projection d'une réalité reconstituée dans des fenêtres-écrans.

<sup>(12)</sup> Le meilleur moyen de dissiper l'énergie est... d'en produire le moins possible.

<sup>(13)</sup> L'acceptation de rayons de courbure horizontaux (tournants) et verticaux (montée et descentes) plus petits diminuerait simultanément le coût de construction et la vitesse de circulation, ce qui entraînerait alors sur l'ensemble du parcours une vitesse moyenne inférieure à 1 200 km/h.

<sup>(14)</sup> Compatibles avec un passager « debout avec un café à la main ». Des scénarios de secours prévoient une décélération d'urgence de 1 g, voire plusieurs g dans les cas les plus extrêmes. Pour mémoire, une accélération de 1 g correspond à l'accélération de la pesanteur à la surface de la terre, hors frottements de l'air, et vaut 9,81 m/s<sup>2</sup>.

<sup>(15)</sup> Exposition universelle de Dubaï prévue en 2020.

<sup>(16)</sup> Cité par l'économiste des transports Yves Crozet : « Appraisal methodologies and the limits to speed gains », Science Direct, World Conference on Transport Research, Shanghai, 10-15 juillet 2016.

<sup>(17)</sup> Pour lui : « Aujourd'hui, les gens travaillent une bonne partie de la journée seulement pour gagner l'argent nécessaire pour aller travailler » (Énergie et équité, Ivan Illich, 1973 : [texte intégral en français](#)).

<sup>(18)</sup> En avril 2018, Virgin Hyperloop One et Dubai Ports World, le 3<sup>e</sup> exploitant portuaire mondial, ont lancé DP World Cargospeed, une marque internationale de systèmes de chargement optimisés pour l'Hyperloop, afin de faciliter la livraison de marchandises palettisées (<https://hyperloop-one.com/dp-world-and-virgin-hyperloop-one-introduce-dp-world-cargospeed> ; <https://www.dropbox.com/s/7e15ph4x136prrb/3.jpg?dl=0>).

<sup>(19)</sup> Audition de M. Yves Crozet, professeur à l'université de Lyon.