



Opinions Libres

le blog d'Olivier Ezratty

Le chemin tortueux de l'innovation dans les transports

Avec Fanny Bouton, et après l'informatique quantique en 2018, nous avons remis le couvert avec une conférence sur un thème très différent, "Les transports du futur" au Web2day le 6 juin 2019 à Nantes. Durant une heure et accompagnée d'une mise en scène un peu déjantée, elle associait les thèmes de Back to the Future (Fanny Bouton en Marty McFly), Star Trek (moi déguisé en Data) et des zestes de James Bond. La conférence est disponible depuis début juillet 2019 en *replay* sur **YouTube**.

Nous y faisons le tour d'un bon nombre de moyens de transport d'aujourd'hui et d'un futur plus ou moins probable. Certains font rêver ! Qui ne serait pas satisfait de diviser par 2 ou 5 le temps des transports d'une ville ou d'un pays à l'autre ?

Je déroule ici l'arc narratif de la conférence. Il vise à déterminer une méthode empirique permettant de faire le tri entre tous ces projets pour identifier ceux qui auront le plus de chances d'émerger et d'être abordables pour le plus grand nombre. Et aussi de faire le tri dans la propagande innovationnelle assez prolifique dans le domaine où l'on fait un peu trop facilement passer des projets papier pour des moyens de transports qui seront opérationnels dans x années, x étant toujours inférieur à 5 à 10 ans.

Nous avons constaté dans nos recherches pour préparer cette conférence qu'un grand nombre d'innovateurs en puissance se lançaient dans d'innombrables projets qui sont destinés en grande majorité à une clientèle pressée et fortunée. Par construction, la plupart de ces projets n'ont pas vocation à devenir "mainstream" et ne sont pas adaptés au transport de masse. Il n'y a malheureusement pas d'équivalent de la loi de Moore dans les transports ! Les raisons sont presque toujours les mêmes et nous allons les passer en revue.

Le déroulé de la conférence partait de la mer pour aller jusque dans l'espace.

Mer : avec un point sur les aéroglisseurs qui étaient des transports du futur dans le passé, les yachts géants (réservés à une élite), les paquebots (géants et qui polluent), porte-avions (les navires les plus chers du monde avec les \$13B du CNV Gerald Ford de l'US Navy), les porte-conteneurs (les plus grands avec 400 m de long, polluants mais tout de même plus efficaces que les camions), le Seabubble français (qui reprend le concept des hydroptères qui est opérationnel depuis des décennies, mais sur un format de transport de moins de 10 passagers) et le Race for Water, un prototype de bateau à énergie renouvelable qui a fait le tour du monde.



Terre : avec les véhicules autonomes et leur devenir, un point sur la promesse délirante d'Elon Musk qui prétend qu'un million de Tesla circuleront en 2020 avec le niveau 5 d'autonomie (qui nécessite des capteurs et des processeurs qui ne sont pas dans la base installée des véhicules déjà commercialisés), les deux roues électriques et les projets divers autour du concept d'Hyperloop comme Hyperloop One, Hyperloop Transportation Technologies, Transpod et le SpaceTrain français.

cybersécurité

expérience utilisateur
sièges, audio, écrans

télécom
C-V2X et ITS-G5



processeur
sensors fusion

capteurs
32 pour niveau 5

batteries
Li-Ion



Air : avec les drones de passagers (engins autonomes ou pas à décollage vertical), avions électriques, voitures avions et autres jet packs fantaisistes. Il faudrait y ajouter les projets de supersoniques civils. C'est dans ce domaine que les projets sont les plus nombreux. Plus d'une centaine sont inventoriés à ce jour même si une toute petite proportion est correctement financée. Il existe déjà des systèmes volants avec passagers au niveau expérimental comme les drones du Chinois eHang ou la voiture volante d'Aeromobil, vue à Vivatech en mai 2019.



Espace : avec les voyages suborbitaux de Virgin SpaceShipTwo, les voyages autour de la Terre qu'Elon Musk voudrait lancer, le tourisme spatial sur la Lune et les voyages sur Mars.

SPACEX



HIGH SPEED SPACE TRAVEL

Analysts: Rocket Jumps Between Earth Cities Could Smash Airlines

"Space tourism could be the stepping stone for the development of long-haul travel on earth serviced by space."

Victor Tangermann | March 20th 2019

Téléportation : nous terminions avec un petit clin d'œil pour expliquer qu'elle serait très compliquée à réaliser. C'est un moyen d'éviter de dire que c'est impossible pour ne pas fâcher les optimistes. Lorsque l'on y regarde de près, la téléportation est probablement l'un des plus gros fantasmes technologiques humains. La quantité d'informations à récupérer et à transmettre est gigantesque, même avec de la téléportation quantique de photons et quand bien même des expériences ont réussi à téléporter quelques atomes. Il se trouve que la position et la nature d'un atome (élément, isotope) sont des informations non quantiques qu'il faudrait capter et transmettre de manière traditionnelle, modulo leur mouvement aléatoire "brownien". Pour arriver à réaliser une téléportation d'un corps humain, il faudrait avoir au choix accès à une énergie ou à un temps quasi-infinis. Sans compter la question de la reconstruction de ce corps au point d'arrivée. Bref, gardez cela pour vos rêves de science-fiction !

téléportation humaine ?

scan atome par atome
10²⁸ atomes



transmission de l'information
position des atomes
éléments / isotopes
états quantiques



reconstitution
>20 types d'atomes différents



2,6x2⁴² bits à capter, envoyer et imprimer !

sur une bande de 30 GHz => 350 000 fois l'âge de l'Univers

transmission terrestre en 10s => faisceau de fibres de 300 km de diamètre

Il ne manquait à notre conférence que la réalité augmentée, qui est un succédané à tous ces déplacements qui prendra sans doute de plus en plus d'importance avec le temps, grâce à un réalisme qui ne fera qu'augmenter.

Infrastructures

Les projets concernés par ce point sont les Hyperloops et les drone de passagers. Les coûts sont toujours sous-évalués par les porteurs de projets, comme le sont généralement les grands projets d'infrastructure pour emporter des marchés. Les promoteurs des Hyperloops prétendent pouvoir obtenir un coût au kilomètre de tunnels plusieurs fois moins cher que celui de voies ferroviaires classiques, ce qui est loin d'être évident et prouvé. Cela dépend évidemment du terrain. S'il est plat, les tunnels peuvent-être construits en extérieur à un coût raisonnable. Mais si le terrain contient des dénivelés, il faudra construire des ouvrages d'art et percer des tunnels, qui sont très coûteux. Plus la vitesse de ces Hyperloop est élevée, plus les tunnels devront être construits droits et sans courbes, donc avec un coût élevé d'infrastructure, surtout dans les zones densément habitées. Ce n'est pas par hasard si les premiers tests ont été réalisés dans le désert comme au nord de Las Vegas pour Hyperloop One.



Des infrastructures spéciales sont également à prévoir pour les drones de passagers qui sont censés aller dans les villes et nécessitent donc des bases d'accueil prenant de la place. Le cas d'usage le plus fréquent, lié à leur faible autonomie, est le trajet entre les aéroports et les centres-villes. S'il n'est pas trop difficile de prévoir des espaces réservés dans les aéroports pour accueillir ces drones, il en va tout autrement des villes, sauf celles qui sont les moins denses. Il en va tout autant des aéroports de proximité qui seraient envisagés pour faire atterrir et

décoller les avions entièrement électriques, ceux-ci faisant moins de bruit que les avions à réaction ou à turbopropulseurs (et hélices).

Enfin, la concurrence devrait être envisageable sur les infrastructures les plus onéreuses, comme pour le rail. Or les projets d'Hyperloop sont généralement intégrés verticalement de la tête au pied. Ce qui n'empêche pas par exemple Hyperloop One d'envisager diverses sources de financements pour ses projets ([source](#)). Les montants étant très élevés, on parle bien entendu de "partenariats public-privé". Les plans ne tiennent pas compte du fait que les pouvoirs publics doivent faire des arbitrages pour privilégier en premier les moyens de transport réellement grand public.

Autorisations publiques

Ces infrastructures nécessitent des permis de construire. Les projets peuvent alors être contrés par les oppositions diverses de citoyens concernés. L'affaire de Notre Dame des Landes pourrait se reproduire dans nombre d'endroits. Donc, lorsqu'un projet annonce que la mise en service commerciale démarrera en 2025, il a négligé que ce délai est probablement celui de l'obtention du permis de construire !

Nombre d'études de faisabilité de projets Hyperloop ont été lancées dans divers pays comme en Inde, aux USA, au Moyen-Orient ou en Europe. Ces études coûtant jusqu'à quelques millions de dollars servent à évaluer l'intérêt économique de tels projets. Jusqu'à présent, aucune de ces études n'a débouché sur un projet concret.

L'exemple le plus récent est celui d'un tunnel de The Boring Company, une société d'Elon Musk, qui devait être construit pour relier l'aéroport à la ville de Chicago et est visiblement en berne. Le tunnel n'est d'ailleurs pas conçu pour faire tourner des Hyperloops mais des voitures classiques, avec des pneus de guidage sur le côté (vidéo).



L'obstacle de ces autorisations publiques explique le lobbying qu'a lancé Hyperloop Transportation Technologies dans différents pays comme en Australie, au Royaume-Uni et au niveau de l'Union Européenne. Leur lobbying consiste à proposer des réglementations à appliquer aux Hyperloops, notamment en matière de sécurité. Leur communication est d'ailleurs assez adroite, faisant croire que l'Union Européenne est déjà en train de réguler ce non-marché alors qu'il ne s'agit pour l'instant que de propositions venant du secteur privé, américain de surcroît. Propositions que l'Union Européenne examine toutefois. Voir [European Commission urged to develop regulations for Hyperloop projects](#) chez VentureBeat "(exact) et [European Commission assesses Hyperloop regulatory needs](#) (exagéré) et [Hyperloop : l'Europe examine le projet de certification](#) (itou). D'ailleurs, les 125 propositions réalisées par HTT et TUV ne sont pas disponibles en ligne.

Quelles seraient les tactiques les plus efficaces pour embarquer les pouvoirs publics ? Idéalement, y aller par petits pas et générer un engagement progressif jusqu'à ce qu'il devienne difficile de faire marche arrière. Elles s'appuient surtout sur l'ego des élus, surtout dans des pays émergents comme en Inde, ou pour accueillir les centres d'essai d'Hyperloop TT à Toulouse ou celui de Transpod à Limoges sans que le financement associé ne soit pour autant entièrement garanti.

Faisabilité technique

Nombre de projets font face à des obstacles techniques pas évidents à traiter.

Les Hyperloops circulent ainsi dans des tubes mis sous vide et sont mus par une propulsion électromagnétique. Ils sont donc isolés de l'extérieur. Il faut alimenter l'habitacle en oxygène et évacuer le CO2 produit par les passagers. Il faut aussi stocker la chaleur produite par ces derniers et par l'équipement. Cela ne ferait qu'alourdir le poids de la navette circulante avec un impact significatif sur la charge utile ou sur le dimensionnement de la propulsion. A ce jour, aucune solution précise ne traite ce problème. Les navettes de tests sont généralement des coquilles vides !

Cette contrainte rend pertinent le projet d'Hyperloop de l'Anglais **Magway** qui est dédié au transport de marchandise dans des navettes de petit format (*ci-dessous*). Avec de la marchandise, la question du réchauffement ne se pose pas trop, sauf s'il s'agit de surgelés !



Les drones de passagers font de leur côté face à peu d'obstacles théoriques. On sait faire voler des drones. Cela ne viole aucune loi physique. Les questions clés à traiter sont leur stabilité et leur autonomie. Les questions techniques portent plus sur la résistance aux intempéries et l'aiguillage du ciel qui pourrait être rapidement encombré par ces aéronefs. C'est un problème de systèmes et d'intégration.



La faisabilité technique est aussi en jeu pour les projets d'avions supersoniques. Il y a notamment celui de **Boom Supersonic** qui a levé en tout \$141M. Il n'en manque plus que quarante fois ce montant au minimum pour finaliser un tel projet sachant que Japan Airlines et Virgin ont "pré-commandé 30 avions, qui n'aura qu'une classe business (*ci-dessous*). L'avion qui est une sorte de mini-Concorde doit voler à Mach 1,6.



Il faut aussi compter avec le projet d'**Hermeus Corporation** qui devrait voler à Mach 5 mais pour lequel le réacteur resterait à créer (vidéo) ! Ce projet a obtenu un financement d'amorçage non précisé du fonds d'investissement Khosla Venture. Lancer la production d'un avion alors que son ou ses réacteurs n'existent pas encore est du bon vaporware avionique ! D'autres projets sont financés par les budgets de R&D de Lockheed Martin ou Boeing, mais ont peu de chances de voir le jour. Voir à ce sujet **Un avion hypersonique capable de relier Paris-New York en 90 minutes** de Louis Neveu, mars 2019 et **Avions supersoniques : après la fin du Concorde, où en sont les projets les plus prometteurs ?** de Léopold Maçon, février 2019.

Coût

Le coût de ces voyages supersoniques sera des plus élevé. Mais le cas le plus flagrant de sous-estimation du coût est celui d'un projet de transport de passagers d'un bout à l'autre de la Terre avec les fusées Falcon de SpaceX, annoncé en 2017 par Elon Musk. Il prétendait que ce voyage pourrait se faire au prix d'un billet d'avion de classe économique. En faisant un calcul rapide, on se rend compte qu'à ce prix-là, on pourrait tout juste envoyer son pied à l'autre bout de la Terre. Le coût le plus bas d'un tel trajet est en effet de \$1300 le kilogramme d'après les informations publiques sur le budget du lancement d'une fusée Falcon Heavy de SpaceX. Avec tout l'équipement, habillement et bagage, un humain représente au moins 100 kg à transporter. Un vol devrait donc revenir au moins à 150-200K€. C'est d'ailleurs le prix annoncé pour un vol suborbital dans Virgin SpaceShipTwo. Les exagérations d'Elon Musk sont excusées parce qu'il a bien réussi à vendre des Tesla et à produire des fusées récupérables. Mais est-ce une excuse pour faire prendre des vessies pour des lanternes ?



Elon Musk : "anywhere on Earth in under an hour" for around the same price as an economy airline ticket.", 2017.

New York – Beijing : \$600-\$2400.

Falcon Heavy : \$90M/launch = \$1300/kg = le pied en business (\$3380K) !

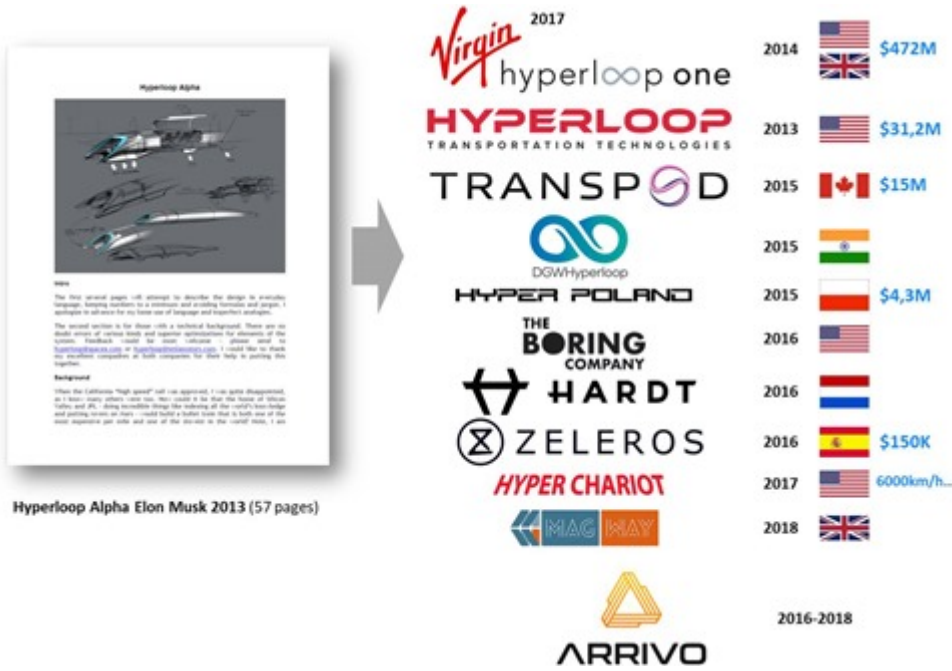
Il en va de même pour le coût d'exploitation des nombreux projets d'Hyperloop qui ne tient pas compte de la solution technique finalisée, intégrant les contraintes de sécurisation et d'équipement des navettes.

L'indécence est au top avec le projet de la NASA de voyages civils dans la Station Spatiale Internationale. Voir [Nasa to open International Space Station to tourists](#), juin 2019. Ces voyages seraient à \$35K par nuit, à étaler sur une trentaine de jours. Les voyages seraient assurés par SpaceX avec sa capsule Dragon ou avec Boeing et son Starliner. Le tout pour de vols coûtant au minimum \$60M.

Les voitures autonomes sont aussi chères. La quantité de leurs capteurs, la puissance de leur informatique embarquée et leurs batteries font gonfler les prix. Par contre, comme ces véhicules seront peut-être très mutualisés dans leur usage, leur coût apparent sera peut-être plus faible que les véhicules à essence actuels.

Besoin de financements

Les projets qui requièrent des infrastructures lourdes ne se financent pas comme une simple startup de logiciel, même si les licornes nous ont habitués à des levées de fonds de plusieurs centaines de millions d'Euros voire de milliards de dollars. Pour construire un Hyperloop, il faut ainsi compter sur au moins 40M€ le kilomètre de tunnel.

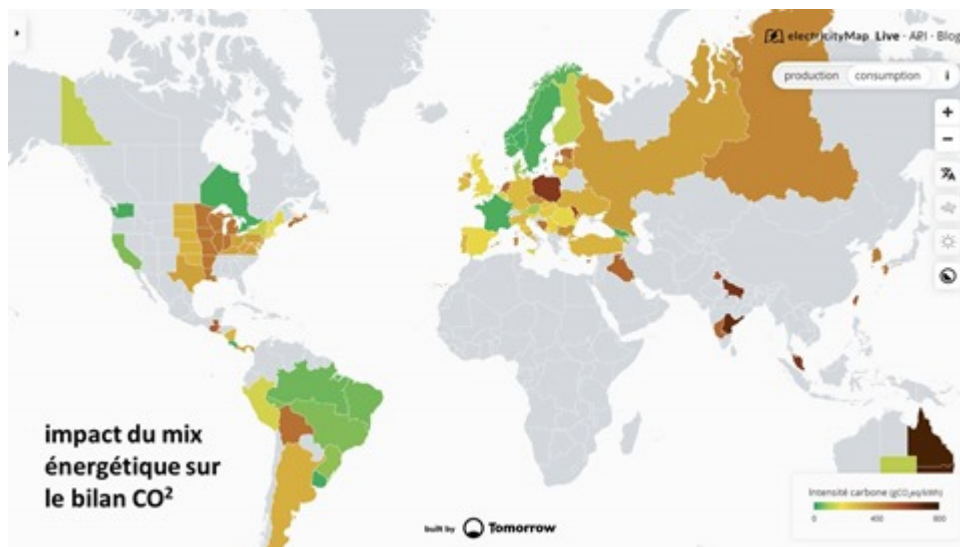


Hyperloop Alpha Elon Musk 2013 (57 pages)

Pour relier une ville à un aéroport, il faudrait donc quelques milliards d’Euro sans compter la construction des gares aux deux extrémités et les navettes elles-mêmes. Pour des trajets de centaines de kilomètres, ceux qui seraient les plus intéressants pour atteindre de très grandes vitesses, il faudrait des dizaines de milliards d’Euros. Bon courage pour les trouver !

Energie

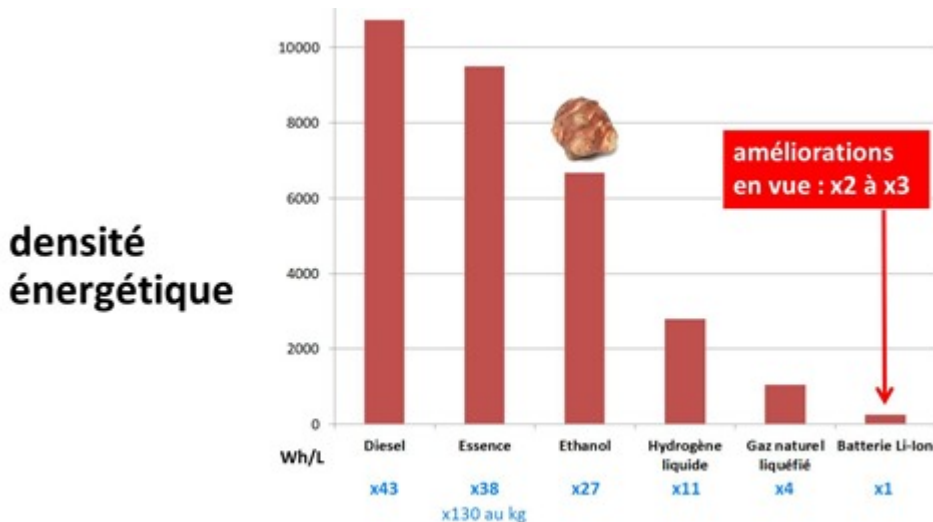
La plupart des moyens de transport du futur, hors voyages dans l’espace, sont censés fonctionner à l’électricité. Leur empreinte CO2 dépend cependant des sources d’énergie primaire qui alimentant les batteries des véhicules électriques. Ce bilan énergétique dépend des pays ! Pour le cas des voitures électriques, autonomes ou pas, le bilan CO2 complet est très variable d’un pays à l’autre. Il serait positif en France, dans les pays nordiques et quelques autres car leur électricité est produite avec une faible empreinte carbone. En France, c’est grâce au nucléaire et dans les pays du nord, grâce à l’hydro-électricité. Dans les pays où l’électricité est produite avec des sources fossiles comme dans l’Est des USA ou en Allemagne et en Pologne, le bilan CO2 est défavorable aux véhicules électriques !



Il faut aussi prendre en compte la consommation d’énergie et la pollution ramenées aux passagers transportés. La rapidité a toujours un coût énergétique. Dans le cas des vols spatiaux que voudrait proposer Elon Musk, ce

coût est indécemment élevé. Ce d'autant plus que les fusées utilisent aussi du carburant fossile : le RP-1, qui est une variante de kérosène, couplé à de l'oxygène liquide (LOX) qui est chère à produire. La réutilisation des lanceurs n'y change rien ! Lancer une fusée reste extrêmement polluant.

Se pose aussi l'éternelle question de la densité énergétique. Elle est très faible pour les batteries Lithium-Ion qui dominent aujourd'hui le marché. Elle ne pourrait s'améliorer que d'un facteur 2 ou 3 selon les projets en cours les plus avancés. On pourrait passer à l'hydrogène qui ne pollue pas lors de son utilisation. Elle produit de l'eau par combustion avec l'oxygène de l'air. Mais le cycle de production et de consommation de l'hydrogène génère beaucoup de déperdition et demande une forte dose d'énergie primaire en amont.



Pour les drones et avions électriques, la faible densité énergétique des batteries oblige à intégrer une turbine à gaz dans l'aéronef pour obtenir une autonomie suffisante pour des trajets de plus de 20 mn. Et on en revient à une source d'énergie fossile, le kérosène qui alimente ces turbines !

Volumétrie

Nombre de projets de transports du futur sont très limités du côté de la volumétrie du nombre de passagers transportables. C'est le cas des avions et drones électriques ou des Hyperloops qui dans le meilleur des cas auraient un tiers du débit des TGV. Voir à ce sujet **Hyperloop, une formidable escroquerie intellectuelle**, par François Lacôte, novembre 2018.

Le projet de tunnels routiers de The Boring Company n'est pas meilleur. Les voitures y circuleraient à la queue leu leu et ne feraient que reproduire en sous-sol les embouteillages en surface. Et la vitesse ne pourrait y être garantie qu'en évitant d'intégrer des tunnels d'entrées et de sorties sur le chemin. Ce sont toujours les variations de flux qui génèrent des embouteillages en surface ! Les déplacer sous terre ne résout rien !

In fine, les questions de volumétrie des transports du futur seront peut-être réglées de manière peu séduisante comme ce projet de sièges d'avions compacts nous obligeant à voler debout avec les sièges **Skyrider 2.0** !

en attendant,
voler debout
en éco ?



Sécurité

Elle est en question dans nombre de moyens de transports du futur. On l'évoque souvent au sujet des véhicules autonomes mais il en va de même pour les Hyperloops et pour les drones de passagers. Ces derniers feront face à des processus de certifications draconiens dans la plupart des pays. Peu d'entre eux ont prévu cela.

Et ne parlons pas de ces vols mono-personnes comme avec les jetpacks de **Gravity Industries** ou le Flyboard de Francky Zappata qui n'ont que quelques minutes d'autonomie et sont plus que délicats à piloter.



Bell Rocket (USA) 20s de vol



Gravity Industries - Richard Browning (UK) 10 mn de vol



Franck Zappata (France) 6 mn de vol

Timing

La majorité des "transports du futur" sont annoncés avec des délais qui défient toute concurrence. Les projets Hyperloop ou les drones de passagers sont censés être courants en moins d'une décennie. La réalité sera bien plus lente, au cas où ils voient le jour. Comme ce Spacetrain français qui "reliera" Paris au Havre d'ici 2025 ! Pourquoi le Havre ? Parce que c'est la ville d'origine de l'actuel Premier Ministre ?



Autre exemple récent, **Uber** qui annonce les premiers vols de tests de ses VTOLs électriques en 2020, notamment à Melbourne, Dallas et Los Angeles, les premières villes ayant mordu à l’hameçon pour les tests (vidéo) avec une mise en service commerciale en 2023, alors que les VTOLs en question n’ont même pas réalisé de vol d’essai sans passager à ce jour et qu’il s’agit de fournisseurs tiers d’Uber comme Bell Helicopter avec son Nexus présenté au CES 2019. Aucun prototype fonctionnel statique n’est même démontré ! Et ils veulent faire atterrir et décoller ces VTOLs sur des immeubles d’ici 4 ans ! En oubliant les longs délais de certification ? Et les médias gobent ce mensonge de timing sans douter ni broncher (**exemple**) ! C’est consternant. Voir les vidéos complètes des annonces d’Uber Elevate, **day 1** – notamment à partir de 7h23mn – et **day 2**. Cela ne veut pas dire que le projet n’est pas viable, juste que l’on nous raconte de trop belles histoires sur les délais. Il comprend notamment un aspect intéressant sur l’intermodalité entre vols en VTOLs et en voitures Uber. Et en attendant, Uber gère déjà un service d’hélicoptères traditionnels à New York qui relie la ville à l’aéroport JFK.

Accessibilité

L’accès aux personnes à mobilité réduite n’est pas évoqué dans la plupart des moyens de transport du futur : drones de passagers, Hyperloops, etc. Voilà une question qu’il leur faudra traiter. Dans la même veine, les Hyperloops à propulsion électromagnétique ne seraient pas recommandés pour les porteurs de pacemakers !

Au bout du compte, en plus de leur dimension entrepreneuriale et technologique, le succès de ces nouveaux moyens de transports dépendra de choix politiques, sociétaux et économiques. Ils seront faits par les politiques, mandatés par les citoyens dans les pays concernés. Les pays non démocratiques comme la Chine ou les pays du pétrole (Emirats, ...) pourront s’en passer et iront peut-être plus vite.

La pléthore de projets de transports à l’épure élitiste ne sont pas pour autant des escroqueries. Leurs entrepreneurs sont très ambitieux. Ils font le choix de s’attaquer au marché des gens pressés et argentés. C’est un scénario classique dans l’entrepreneuriat, à ceci près qu’ils s’attaquent ici à la chose publique, via des projets lourds en infrastructures. Certains entrepreneurs appliquent la règle du 1% : capter 1% d’un marché donné à forte valeur génère une forte valeur potentielle. C’est le calcul fait pour nombre de projets de drones de passagers qui oublient évidemment que leur marché tout naissant est déjà très fragmenté sans logique de plateforme. Les sociétés porteuses de ces projets sont souvent des bureaux d’études qui se font de la promotion à bon compte. Elles peuvent se rabattre ensuite sur des projets plus réalistes.

L’enjeu clé pour tous les projets plus ou moins fantaisistes est de faire avancer l’état de l’art des transports et de

créer, dans la mesure du possible, des moyens de transports pour tous et pas seulement pour une élite fortunée.

Quels sont donc ceux de tous ces projets qui ont le plus de chances d'émerger ? Il est fort probable qu'il s'agira de ceux qui relèvent le moins de la science-fiction et qui seront économes en infrastructures nouvelles et en énergie. Les véhicules indépendants et se satisfaisant des infrastructures existantes sont les plus plausibles. Cela a tendance à favoriser les véhicules électriques à 2 ou 4 roues. Les véhicules autonomes pourront émerger progressivement, la difficulté de leur déploiement étant leur cohabitation avec les humains, qu'ils soient à pied, sur une, deux, trois ou dans une quatre roue. Enfin, les drones de livraison seront probablement déployés dans certaines géographies. Ils posent moins de problèmes de sécurité que les drones de passagers.

Il est sinon fort probable que les transports en commun actuels perdureront tout en se modernisant : bus, trams, trains et TGV. Et même si la tendance sera à la réduction des vols en avion, les avions actuels continueront d'occuper le ciel comme aujourd'hui pendant de longues décennies. Au bout du compte, l'innovation dominante sera triste et raisonnable, comme un TER rénové. Et on continuera de rêver avec la science-fiction !

Sur ce sujet, voir aussi :

La bulle des drones de passagers (février 2019).

Les projets Hyperloop et Elon Musk (février 2018).

Cet article a été publié le 10 juin 2019 et édité en PDF le 23 décembre 2021.
(cc) Olivier Ezratty – “Opinions Libres” – <https://www.oezratty.net>