



Le tracteur routier électrique à l'hydrogène *Nikola One* : les deux côtés de la médaille

par Pierre Langlois, Ph. D., 14 décembre 2016

Le lancement du prototype du Nikola One par Nikola Motor (<https://nikolamotor.com>), le 1^{er} décembre dernier, a été pour le moins spectaculaire. Le fondateur et président de la nouvelle compagnie, Trevor Milton, a fait une présentation très enthousiaste de son bébé, dont le design est particulièrement réussi, avec des courbes très aérodynamiques, comme vous pouvez le constater sur la photo ci-dessous. L'esthétique du tracteur routier électrique de même que l'ergonomie et la grandeur de sa cabine doivent faire rêver les camionneurs, surtout avec les performances qu'il affiche.



Six moteurs électriques lui donnent des performances inédites

Pas moins de six moteurs électriques (un pour chaque roue) font avancer le Nikola One avec au total une puissance de 745 kW (1000 hp) et un couple de 2700 N-m (2000 lb-pi) à la sortie des moteurs. En tirant une remorque à pleine charge, le mastodonte peut gravir une pente de 6 % à une vitesse de 105 km/h, du jamais vu, 50% à 100 % plus vite que les semi-remorque diesel! De plus, fini les changements de vitesses, car il n'y a pas de transmission, ni différentiel, ni arbre de transmission mécanique. Tout est automatique avec six roues motrices en prime. Et l'accélération 0-100 km/h se fait en 30 secondes au lieu de 60 secondes pour les camions diesel de même gabarit! Les camionneurs doivent saliver, et ce n'est pas fini

À remarquer que les moteurs ne sont pas dans les roues mais entre les roues, avec un réducteur de vitesse par engrenages entre le moteur et la roue qu'il actionne, ce qui multiplie le couple et le fait monter au total à 115 000 N-m aux roues!

Une batterie de 320 kWh et une pile à combustible à hydrogène

La consommation d'énergie électrique estimée par Nikola Motor est de 108 kWh/100 km, ce qui lui permet, en principe, de franchir près de 250 km sur une pleine charge de sa batterie Li-ion de 320 kWh. Mais curieusement, le Nikola One n'est muni que d'une prise pour les bornes de recharge de 50 kW CC qui vont lui redonner 12,5 kWh environ en 15 minutes, le temps de faire le plein d'hydrogène. Une telle recharge permet de remplir seulement 5 % de la batterie. Aussi bien dire que celle-ci n'est rechargeable sur le réseau que lors d'arrêts prolongés de 8 à 9 heures, mais pas en route. C'est une pile à combustible à hydrogène de 200 kW qui la recharge constamment pendant les trajets. La batterie sert de réserve d'énergie pour donner la pleine puissance de 745 kW au camion lorsqu'il en a besoin, pendant suffisamment longtemps. La pile à combustible ne pourrait le faire à elle seule, et doit fonctionner toujours à sa puissance optimale pour maximiser son efficacité.

L'hydrogène est transporté aux stations-service par camion citerne sous forme liquide (-253 °C) dans des réservoirs cryogéniques et stocké dans le Nikola One sous forme de gaz comprimé dans des cylindres à haute pression derrière la cabine. Ces cylindres peuvent en contenir 100 kg et donner une autonomie au camion pouvant aller jusqu'à 1900 km.

L'aspect sécurité, du pour et du contre

Le groupe de traction-propulsion (moteurs, batterie, pile à combustible, électronique de puissance) est entièrement sous la cabine, ce qui permet d'éliminer pratiquement le devant traditionnel de ce genre de véhicule et d'avoir **une meilleure visibilité juste en avant du tracteur**, donnant également plus d'espace à l'intérieur de la cabine.

Le centre de gravité du Nikola One est donc bien plus bas que celui d'un camion conventionnel au diesel, ce qui diminue les risques de renversement.

Il faut également noter que **la distance de freinage du Nikola One est plus courte d'environ 10 mètres**, dû à la rapidité de réaction des moteurs qui agissent comme freins électromagnétique, (tout en rechargeant la batterie), en plus des freins à air conventionnels qui sont aussi présents. **Il y a donc deux systèmes de freinage, un électromagnétique et l'autre à friction diminuant de beaucoup les risques d'accident dus à un bris des freins mécaniques.**

Par ailleurs, le fait qu'il y ait six moteurs électriques permet de contrôler chaque roue indépendamment et d'avoir un système anti dérapage performant.

Tous ces aspects positifs concernant la sécurité sont liés au groupe de propulsion-traction électrique. **Mais, le fait qu'on utilise de l'hydrogène à grande échelle, avec monsieur tout le monde, apporte des craintes justifiées concernant la sécurité.** L'hydrogène est un gaz explosif, avenant une fuite en présence d'une étincelle ou d'une cigarette. Les réservoirs d'hydrogène liquide sont toujours situés à l'extérieur des édifices, car on doit constamment laisser l'hydrogène s'échapper du réservoir en petite quantité pour éviter une surpression et l'explosion du réservoir, comme nous le verrons plus loin. Les camions Nikola One ne pourront possiblement pas passer dans les tunnels, pour des raisons de sécurité.

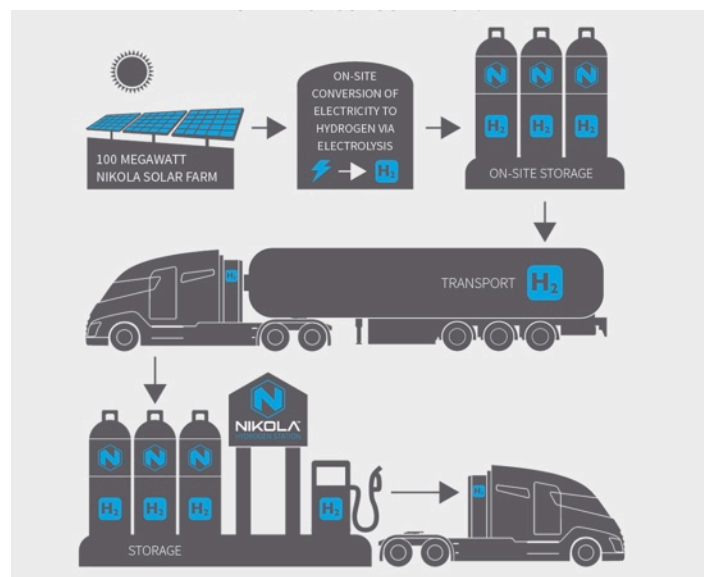
Plus léger

La masse du tracteur routier Nikola One est environ 900 kg (2000 livres) de moins que son équivalent diesel, grâce, entre autres, aux matériaux légers utilisés (panneaux en fibre de carbone, et aluminium) et à l'absence d'un gros moteur diesel et d'une lourde chaîne de transmission de la force (transmission, différentiels, arbres). La structure est quand même fabriquée en acier.

Des centrales solaires pour produire l'hydrogène et 364 stations-service pour le distribuer en Amérique du Nord

Pour produire l'hydrogène et le distribuer, Nikola Motor a l'intention de construire des centrales électriques solaires photovoltaïques de 100 MW pour générer l'hydrogène par électrolyse de l'eau près des centrales. L'hydrogène produit sera liquéfié à -253 °C et stocké dans des réservoirs conçus pour les basses températures. Des camions Nikola One vont ensuite distribuer l'hydrogène aux 364 stations que Nikola Motor veut construire à la grandeur des États-Unis, du Canada et d'une partie du Mexique. Le temps requis pour faire le plein d'hydrogène est d'environ 15 minutes selon la compagnie, comme nous l'avons mentionné plus haut. Le schéma ci-dessous, tiré de la présentation au lancement du Nikola One, illustre tout cela. Donc, en principe, très peu de gaz à effet de serre et d'émissions polluantes se retrouvent dans la chaîne de production et distribution de l'hydrogène.

Mais, le président de Nikola Motor, Trevor Milton, lors de sa présentation au lancement, a ouvert une porte aux carburants fossiles pour produire l'hydrogène, qui ne rassure pas. Voici ce qu'il a dit à partir de 8 min. 30 sec. dans la vidéo YouTube de sa présentation (<https://www.youtube.com/watch?v=wEU6v256Uo8>) :



«There is a lot of ways to create hydrogen... You can create it with solar. You can, on site, convert it to hydrogen through electrolysis, or you can use other methods like steam reform [of fossil fuels]. With that technology, even with steam reform, you can utilize all the other emissions that come out of it for like road tar and other products, so it is about as emission free as you can get of a fuel.»

ce qui donne en traduction libre

«Il y a plusieurs façons de produire l'hydrogène... Vous pouvez le produire avec de l'énergie solaire. Vous pouvez, sur place, la convertir en hydrogène à l'aide de l'électrolyse, ou vous pouvez utiliser d'autres méthodes comme le reformage à la vapeur [des carburants fossiles]. Avec cette technologie, même avec le reformage à la vapeur, vous pouvez utiliser toutes les autres émissions qui en résultent pour, par exemple, du bitume pour les routes et d'autres produits, ainsi c'est à peu près aussi le moins d'émissions que vous pouvez générer à partir d'un carburant.»

Le commentaire entre parenthèses carrées (en brun) est une précision apportée par l'auteur de cet article. De qualifier la production d'hydrogène à partir des carburants fossile de «presque sans émissions» nous semble aberrant. Surtout quand on considère qu'on utilise en très grande partie du gaz naturel pour produire l'hydrogène présentement. Et le gaz naturel en Amérique provient à plus de 40 % du gaz de schistes, avec tous les dangers environnementaux qu'il comporte lors de son extraction par la fracturation hydraulique (cocktail de produits chimiques toxiques et fuites de gaz naturel qui risquent de polluer les nappes phréatiques...).

Alors, s'il fallait que Nikola Motor arrive à la conclusion que la production d'hydrogène par énergie solaire et électrolyse coûte trop cher finalement, et que la compagnie décide d'utiliser du gaz naturel, ça voudrait dire qu'on aura changé un carburant fossile pour un autre. Et comme nous l'avons déjà démontré dans un autre article (<http://roulezelectrique.com/les-camions-au-gaz-naturel-emettent-plus-de-ges-que-les-camions-diesel-sur-le-cycle-de-vie/>), dû aux fuite de méthane bien plus importantes qu'on pensait, le gaz naturel est pire que le diesel au niveau des gaz à effet de serre, lorsqu'on considère le cycle de vie des carburants.

Une utilisation inefficace de l'électricité renouvelable

Il faut bien le dire, le projet de Nikola Motor semble à priori très stimulant du fait qu'on élimine les carburants fossiles des camions lourds et qu'on le fait avec des énergies renouvelables. Mais, il reste deux points à regarder de plus près pour voir s'il n'y aurait pas une meilleure façon d'y arriver : l'efficacité énergétique, de la centrale électrique aux roues des camions, et le coût.

Lors de sa présentation au lancement, le président Trevor Milton a insisté sur le fait que la consommation d'énergie du Nikola One est deux fois moindre qu'un tracteur routier au diesel, soit 15,3 litre éq./100 km (15,4 MPG eq.) vs 31,4 litre/100 km (7,5 MPG). Les litres

éq. (équivalent) correspondent à la quantité d'hydrogène qui contient la même énergie qu'un litre de carburant diesel. Cette affirmation sur une consommation moindre d'hydrogène est vraie si on prend en compte seulement le carburant qu'on met dans les réservoirs des camions.

Mais, **pour une meilleure compréhension des impacts environnementaux, il est important de tenir compte du cycle de vie des carburants.** Alors, regardons ce qu'il en est, en partant de l'énergie produite par la ferme de panneaux solaires. Ce genre d'étude a déjà été faite par Ulf Bossel et publié dans les Proceedings of the IEEE en octobre 2006 (<http://www.industrializedcyclist.com/ulf%20bossel.pdf>). La figure 9 de cet article intitulé «Does a Hydrogen Economy Make Sense?» et présentée ci-dessous résume la situation. On part de 100 kWh d'énergie électrique en courant alternatif produite par de l'énergie renouvelable, et l'efficacité de chaque étape est indiquée entre parenthèses de même que l'énergie qui reste disponible après cette étape. C'est la deuxième colonne sous «electrolysis» qui nous intéresse («liquéfaction», en bleu).

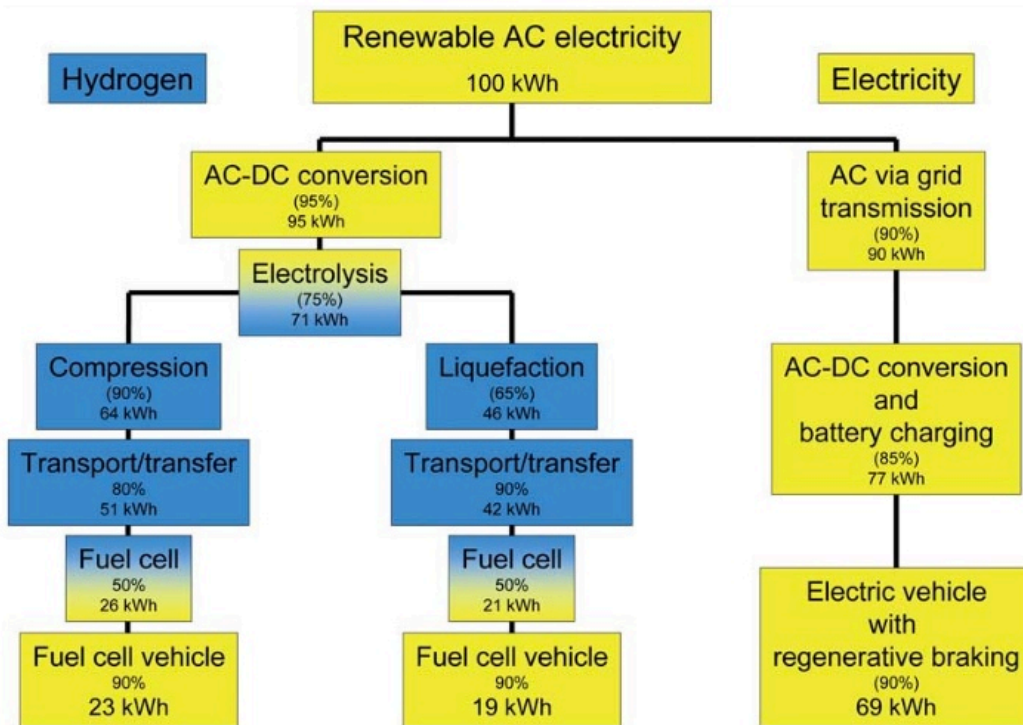


Fig. 9. Useful transport energy derived from renewable electricity.

Puisque les panneaux solaires fournissent une tension continue et que les usines d'électrolyse vont être près des champs solaires, nous ne tiendrons pas compte du 5 % de perte pour redresser du courant alternatif. Le 75% d'efficacité pour l'usine d'électrolyse, inscrit dans le diagramme de Bossel, correspond à l'objectif à atteindre en 2020 pour

l'efficacité des usines d'électrolyse, selon un document du Département de l'Énergie étatsunien (DoE) dont la section pertinente (3.1) a été mise à jour en 2015¹.

Maintenant, pour liquéfier l'hydrogène à -253 °C, ça prend beaucoup d'énergie, et le 35 % de pertes à cette étape correspond à ce que l'on retrouve un peu partout dans la littérature.

Pour ce qui est du stockage, du transport et du transfert de l'hydrogène liquide, le 10 % de pertes mis de l'avant par Ulf Bossel nous semble un peu optimiste. Ce qu'il faut savoir, c'est que l'hydrogène liquide est stocké dans des réservoirs cryogéniques passifs (contenant des thermos) et que l'isolation thermique de ces réservoirs n'est pas parfaite. Il y a donc un réchauffement lent qui fait évaporer l'hydrogène qu'on doit laisser s'échapper par des valves pour limiter la pression, sinon les réservoirs exploseraient. La Nasa, par exemple, qui a utilisé beaucoup d'hydrogène liquide pour la navette spatiale estime qu'il y avait une perte de 46 % de l'hydrogène qui sortait de l'usine. Le site suivant de la Nasa <https://www.nasaspaceflight.com/2015/03/ksc-shopping-lh2-ahead-sls-launch/> donne les détails sur la répartition des pertes. Sans comptabiliser autant de pertes, il faut réaliser que les stations-service pour faire le plein d'hydrogène des camions ne seront pas très sollicitées au début. Il est donc très probable qu'il y ait des pertes plus élevées que 10 %. Nous retiendrons plutôt 15% de pertes pour le stockage et le transport de l'hydrogène liquide pour les tracteurs routiers Nikola One.

Le dernier maillon de perte se situe au niveau de la pile à combustible qui selon la présentation faite au lancement du Nikola One serait efficace à 70 %. Mais là, il semble bien que Trevor Milton ait été optimiste. Le document du Département de l'Énergie étatsunien (DoE) cité plus haut fait le point sur les piles à combustibles elles-mêmes à la section 3.4, mise à jour en septembre 2016. On y voit au paragraphe 3.4.1, sur les objectifs à atteindre en 2020, l'énoncé suivant:

- *«Develop a 65% peak-efficient, direct hydrogen fuel cell power system for transportation that can achieve 5,000-hour durability (ultimate 8,000 hours) and mass produced at a cost of 40\$/kW by 2020 (ultimate \$30/kW).»*

Présentement, les piles à combustible à l'hydrogène ont une efficacité de 60%. Mais soyons beau joueur et admettons que l'objectif 2020 du DoE sera rencontré et qu'on obtienne une efficacité de 65 %. On aura donc 35 % de perte pour convertir l'hydrogène en électricité.

Si on multiplie les efficacités à chacune des étapes qu'on vient de décrire on obtient $0,75 \times 0,65 \times 0,85 \times 0,65 = 0,27$. C'est donc dire que pour 10 kWh d'électricité produite à la ferme solaire, seulement 2,7 kWh peuvent être utilisés par les moteurs électriques du Nikola One, et possiblement moins.

¹ Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, Department of Energy (DoE), «Fuel Cell Technologies Office - Multi-Year Research, Development, and Demonstration Plan - 2011-2020» (<http://energy.gov/eere/fuelcells/downloads/fuel-cell-technologies-office-multi-year-research-development-and-22>). La section pertinente de ce document est la section 3.1 «Hydrogen Production», mise à jour en 2015, en particulier le tableau 3.1.5.

Donc, force est de constater que **si le Nikola One était entièrement à batterie qu'on recharge sur le réseau, on pourrait parcourir environ 3,5 fois plus de distance avec la même quantité d'énergie électrique. Or, Nikola Motor prévoit installer des bornes de recharge de 50 kW seulement à ses stations, ce qui ne pourra recharger la batterie que de 5% pendant le 15 minutes que ça prend pour faire un plein d'hydrogène.** Il est évident que Nikola Motor ne met pas d'effort particulier pour la recharge sur le réseau (n'oublions pas que Tesla a déjà des superchargeurs à 130 kW depuis 2012). Est-ce que ça serait parce que l'infrastructure de production et distribution de l'hydrogène coûte si cher qu'on veut la rentabiliser en vendant le maximum d'hydrogène?

Une gigantesque quantité d'électricité

Cette inefficacité de la filière hydrogène liquide va nécessairement se traduire par un très grand besoin en panneaux solaires pour produire tout l'hydrogène nécessaire. À la section «*Peut-on faire autrement*» plus loin, on démontre que si les camions étaient entièrement à batterie, on aurait besoin de 4 à 5 milliards de Watt (4 à 5 GW) de panneaux solaires pour alimenter les 364 stations-service prévues par Nikola Motor. Et on vient de voir à la section précédente que c'est environ 3,5 fois plus avec de l'hydrogène produit par électrolyse et liquéfié. **C'est donc, à terme, environ 15 GW de panneaux solaires qui seraient requis pour produire tout l'hydrogène pour alimenter les 364 stations prévues, soit l'équivalent en puissance de 10 barrages Manic-5 de 1 500 MW (photo ci-dessous) ou 20 centrales nucléaires de 750 MW. C'est gigantesque!**



Un prix optimiste pour l'hydrogène

Pour ce qui est du coût en carburant, Nikola Motor offre l'hydrogène gratuit pour 1 600 000 km aux 5 000 premiers acheteurs. Mais, combien est-ce que les suivants vont payer leur hydrogène?

Dans la section 3,5 «*Manufacturing R&D*» du document du DoE sur les piles à combustible mentionné plus haut, l'objectif pour 2020 concernant le prix de l'hydrogène est donné dans le paragraphe suivant de la page 3.5-1 :

« Support efforts to reduce the cost of manufacturing components and systems to produce and deliver hydrogen at < \$4/gge (2007 dollars) (untaxed, delivered, and dispensed) by 2020. »

Pour le commun des mortels, gge signifie «gasoline gallon equivalent», ou si vous voulez la quantité d'hydrogène qui contient la même énergie chimique qu'un gallon étatsunien d'essence. Cette quantité d'hydrogène correspond à 1% près à 1 kg d'hydrogène. Donc **le but visé par le Département de l'Énergie des États-Unis pour 2020 est de pouvoir payer l'hydrogène à la pompe à 4\$/kg plus taxes, en dollars 2007, soit 5 \$/kg plus taxes en dollars 2020**, en comptant une inflation annuelle typique de 2 %.

Or, dans la section FAQs du site de Nikola Motor, à la rubrique «364 planned Nikola Hydrogen Stations» **on peut lire que les camions «non-Nikola» pourront faire le plein d'hydrogène en payant 3,50 \$/kg, ce qui est plutôt optimiste pour le prix de l'hydrogène**. Surtout que le prix de 5\$ du kg visé par le DoE en 2020 est pour une production à grande échelle, alors qu'il y aura très peu de véhicules à hydrogène vendus d'ici là.

Il va falloir changer la pile à combustible aux deux ans

Il y a un détail que Nikola Motor n'a pas mentionné, c'est la durabilité de la pile à combustible et son coût de remplacement. Dans le paragraphe cité un peu plus haut, on apprend que le but pour 2020 est d'atteindre une durabilité de 5000 heures pour les piles à combustible. Or les camions semi-remorque dédiés aux longs trajets sont sur la route un minimum de 50 heures par semaine, ce qui signifie **qu'il faudrait changer la pile à combustible à tous les deux ans. Et l'objectif de prix pour une production de masse (500 000 systèmes par année) en 2020 est de 40\$/kW selon le DoE. En 2014 on en était à un prix estimé de 55 \$/kW en production de masse, mais à 280 \$/kW pour seulement 20 000 unités par année** (voir la diapo 9 de la présentation suivante du DoE https://www.hydrogen.energy.gov/pdfs/review14/fc000_papageorgopoulos_2014_o.pdf). La production anticipée par Nikola Motor étant de 50 000 unités par année, le prix sera certainement au dessus de 100\$/kW en 2020. **Pour changer la pile de 200 kW du Nikola One, il faudrait donc compter déboursier plus de 20 000 \$ plus la main d'œuvre et les taxes, disons 25 000 \$.**

Des coûts d'opération et de propriété optimistes

Selon HDS Truck Driving Institute (<http://www.hdstruckdrivinginstitute.com/semi-trucks-numbers/>) **la moyenne des camions lourds sur autoroutes font plus de 160 000 km par année, disons 175 000 km.** Or, nous avons vu au début de cet article que la consommation d'énergie électrique du Nikola One était de 108 kWh/100 km. Le véhicule va donc consommer $1750 \times 108 = 189\,000$ kWh dans une année. Et, sachant qu'un kilogramme d'hydrogène contient 33,3 kWh d'énergie, avec une perte de 35% pour sa conversion en électricité par la pile à combustible (objectif 2020 du DoE) il ne reste que 21,7 kWh/kg utilisable sous forme d'électricité par le système de propulsion du Nikola One. **On aura donc besoin de mettre dans le réservoir du tracteur routier $189\,000 \div 21,7 = 8\,710$ kg d'hydrogène à chaque année, ce qui coûtera autour de 43 550 \$ ($8710 \text{ kg} \times 5 \text{ \$/kg}$).**

En ajoutant 12 500 \$/an, pour changer la pile à combustible, au coût annuel de l'hydrogène, on arrive à 56 000 \$/an pour un kilométrage annuel de 175 000 km.

Pour ce qui est des coûts de propriété, Nikola One n'a pas l'intention de vendre ses tracteurs routiers, elle veut plutôt les louer avec un plan tout inclus de 5 000 \$ à 7 000 \$ par mois, pour 7 ans ou 1 600 000 km selon le premier qui arrive à échéance. Après cela, le locateur pourra échanger son Nikola One pour un neuf et poursuivre le plan de location. Cette location inclut l'hydrogène et l'entretien normal prévu par Nikola Motor. **Le montant annuel de la location se situera donc dans la fourchette de 60 000 \$ à 84 000 \$.**

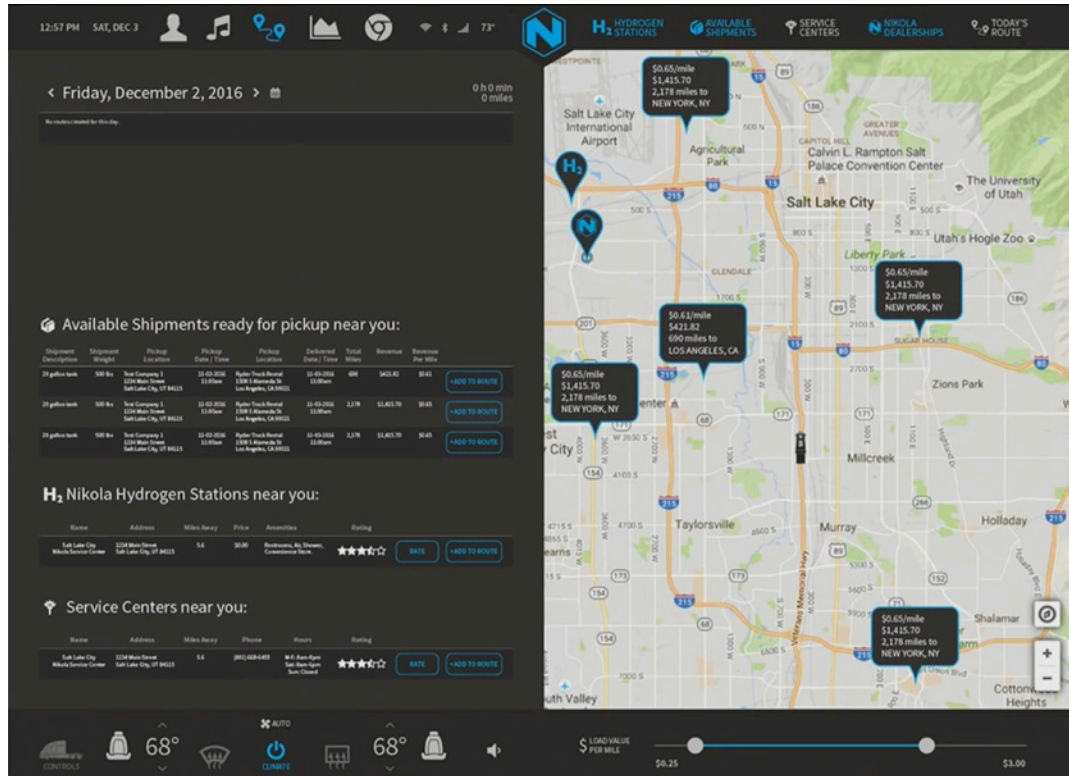
Même si Nikola n'a pas dévoilé le prix du Nikola One, on peut s'attendre raisonnablement à ce que sa valeur soit au moins de 300 000 \$, soit avec les frais de financement près de 350 000 \$. La batterie de 320 kWh et la pile à combustible de 200 kW vont valoir à elles seules près de 100 000 \$. Et six moteurs électriques de 125 kW chacun avec les réducteurs de vitesse et l'électronique de puissance requise c'est pas donné. Sans compter les panneaux en fibre de carbone qui coûtent plus cher que l'acier.

En comptant 84 000 \$ de location par année pendant 7 ans on arrive à un montant de 588 000 \$, ce qui laisse moins de 250 000 \$ pour les coûts de carburant et d'entretien. Mais, nous avons vu plus haut que selon notre estimé (basé sur les objectifs 2020 du DoE) il faudrait déboursier annuellement 56 000 \$ pour l'hydrogène et les changements de pile à combustible, pour un kilométrage annuel de 175 000 km. Sur 7 ans ça fait 392 000 \$ plus l'entretien proprement dit. **Il manquerait donc un bon 150 000 \$ et possiblement plus pour arriver avec une location sur 7 ans et des paiements mensuels de 7 000 \$.**

Des livraisons de marchandises à la Uber

Les gens de Nikola Motor doivent être conscients qu'ils ont beaucoup étiré l'élastique et que leurs chiffres sont plutôt risqués. Aussi cherchent-ils à augmenter les revenus des futurs propriétaires de Nikola One et les leurs via une plateforme intégrée de gestion des livraisons à la Uber, baptisé **Nikola Shipment**. Avec ce logiciel, le camionneur verra apparaître sur son écran de 21 po des livraisons demandées, compatibles avec son parcours.

Il pourra donc faire du cocamionnage, pour plusieurs compagnies différentes et optimiser sa charge et ses trajets. En principe, Nikola devrait se prendre un pourcentage des profits pour la gestion de cette plateforme de répartition des demandes de livraison.



Faisons le point

Nikola Motor a des objectifs très louables :

- remplacer les camions lourds au diesel par des camions électriques à hydrogène,
- ce faisant rendre le camions plus performants avec une cabine plus spacieuse,
- produire l'hydrogène avec des centrales solaires par électrolyse de l'eau,
- établir un réseau de 364 stations-service pour l'hydrogène en Amérique du Nord,
- optimiser la logistique des livraisons via une application à la Uber.

C'est énorme et ça va prendre des ressources financières phénoménales. Seulement en électricité, on a besoin à terme en panneaux solaires d'une puissance équivalente à une dizaine de centrales hydroélectriques de 1 500 MW comme Manic-5 ou une vingtaine de centrales nucléaires de 750 MW pour alimenter en hydrogène liquide les 364 stations-service prévues, en comptant trois camions par station en moyenne en même temps.

C'est beaucoup plus difficile que ce que Tesla a fait, car dans leur cas le réseau de distribution électrique était déjà en place. Pour Nikola Motor, il faut construire des

centrales solaires, des usines d'électrolyse avec des liquéfacteurs cryogéniques (-253 °C), de gros réservoirs pour stocker l'hydrogène liquide, un réseau de stations-service pour faire le plein (bien plus chères que les superchargeurs de Tesla), mettre en place une flotte de camions cryogéniques pour distribuer l'hydrogène liquide, et finalement construire les camions Nikola One et gérer la plateforme *Nikola Shipment*.

Qui va payer tout ça, alors que les risques financiers sont très importants? Car, il semble bien que Nikola Motor a été bien optimiste dans ses prévisions de coûts, comme nous l'avons vu.

Par ailleurs, l'utilisation de l'hydrogène liquide comme carburant nécessite 3,5 fois plus d'énergie renouvelable que pour un camion électrique à batterie. **Cet aspect d'inefficacité énergétique se conjugue mal avec le développement durable. Surtout que Nikola Motor ne fait pas d'effort pour offrir des bornes de recharge dignes de ce nom à ses stations-services.** Les bornes de 50 kW prévues ne pourront recharger la batterie que de 5 % de sa capacité durant les 15 minutes nécessaires pour faire le plein d'hydrogène.

Et si la compagnie décidait d'aller plutôt vers le gaz naturel pour produire l'hydrogène et réduire les coûts, ça serait pire au niveau des gaz à effet de serre qu'avec des camions lourds au diesel, comme nous l'avons vu, lorsqu'on considère le cycle de vie des carburants.

Peut-on faire autrement?

Il faut bien le dire, électrifier des camions lourds qui transportent 30 tonnes de marchandises et parcourent 800 à 1000 km dans une journée n'est pas une mince affaire. En n'utilisant qu'une grosse batterie qu'on recharge sur le réseau électrique pour donner une autonomie de 900 km en été (600 km en hiver), celle-ci devrait avoir une capacité d'environ 1 200 kWh, comparativement au 60 kWh de la Chevrolet Bolt ou de la future Tesla Model 3 (autonomie de 350 km).

Au prix actuel de 200 \$/kWh, une telle batterie coûterait 240 000 \$. Mais, pour parcourir 175 000 km/an, un camion semi-remorque conventionnel a besoin d'environ 60 000 litres de diesel, ce qui signifie une facture annuelle de carburant de plus de 60 000 \$. La batterie pourrait donc se payer en 4 à 5 ans, ce qui reste raisonnable.

Pour ce qui est du poids d'une batterie Li-ion de 1 200 kWh il avoisinerait présentement 7 tonnes métriques (à 170 Wh/kg au niveau du bloc batterie). Quand on pense qu'un tracteur routier au diesel pour les longues distances pèse environ 8,5 tonnes, on constate qu'il faudrait réduire le poids de la batterie d'un facteur 2,5 environ. Ce n'est pas impossible, mais ça pourra prendre 10 à 15 ans avant d'en arriver là.

Enfin, si on veut recharger une batterie de 1 200 kWh en 30 minutes, on a besoin d'une borne de recharge de 3 millions de Watt (3 MW). C'est 60 fois plus rapide que nos bornes rapides actuelles de 50 kW à 400 Volt. Pour obtenir 3MW, il faudrait recharger les camions lourds avec une borne de 3 000 Volt à 1 000 Ampère ou 6 000 Volt à 500 Ampère! Et on en

aurait besoin d'au moins six dans une station, requérant une entrée électrique de 18 MW. Pour que ce soit pragmatique, ça prendrait presque une microcentrale électrique dans chacune des stations-service pour la recharge des camions. Par ailleurs, la compagnie qui posséderait un tel camion électrique à batterie aurait besoin à son garage d'un chargeur de 150 kW pour effectuer la recharge complète en 10 heures de nuit.

Il est également intéressant d'estimer la puissance totale des centrales solaires qui seraient requises pour alimenter 364 stations-service. En supposant que les hyperchargeurs des stations soient occupés à terme à 50 % en moyenne, on arrive à un total de $364 \times 18 \text{ MW} \times 0,5 \times = 3,2 \text{ GW}$. Mais, en réalité, comme le soleil ne brille pas 24 heures par jour, on va avoir besoin de plus de puissance et de la stocker pour la nuit. **C'est donc 4 à 5 GW de panneaux solaires qui seraient requis, soit l'équivalent de 3 centrales comme le barrage hydroélectrique de Manic-5.**

Par conséquent, le trop grand poids des batteries Li-ion et les puissances électriques très imposantes requises pour recharger des camions semi-remorque tout électrique à batteries font en sorte que de tels véhicules ne sont pas encore réalisables avec la technologie d'aujourd'hui, de façon pratique et rentable.

Il reste une possibilité, des camions électriques avec un prolongateur d'autonomie au diesel (et/ou biocarburants 2G) et de nouveaux moteurs thermiques plus compacts et plus légers, qui peuvent consommer 20 % moins de carburant que les moteurs diesel. Avec une batterie de 400 kWh dont 350 kWh seraient utilisables, on aurait une autonomie électrique de 300 km en été et 200 km par temps froid. Remettre 350 kWh d'énergie électrique dans la batterie en 25 minutes prendrait une borne de recharge de 1 MW environ. Et une recharge de 10 heures de nuit pourrait se faire avec une borne de 50 kW. Ainsi, **avec une recharge lente la nuit et deux recharges rapides de 25 minutes dans le jour (le temps de manger) on aurait une autonomie électrique de 900 km en été et 600 km en hiver.**

Le prolongateur d'autonomie thermique n'entrerait en fonction que pour 25 % du temps en moyenne, en considérant des trajets journaliers de 1 000 km. Mais puisque le camion serait hybride, sans moteur qui tourne à l'arrêt, avec un aérodynamisme optimisé et un nouveau type de moteur beaucoup plus performant, **la consommation de carburant diesel (et/ou de biocarburant 2G) serait réduite approximativement d'un facteur 8 par rapport aux camions diesel traditionnels.**

Trois nouveaux types de moteurs thermiques qui ont la possibilité d'atteindre des efficacités de 55 % (comparativement à 45 % pour les moteurs diesel) sont en développement présentement, avec des prototypes opérationnels, des subventions du gouvernement et/ou des investissements privés importants. Ces trois moteurs sont 2 à 4 fois plus petits et légers pour une même puissance que les moteurs thermiques conventionnels. Les compagnies qui développent ces nouveaux moteurs thermiques ultra-performants sont *Liquid Piston* (<http://liquidpiston.com/>), *EcoMotors* (<http://ecomotors.com/>) et *Achates Power* (<http://achatespower.com/>). Un moteur de 200 kW serait suffisant, compte tenu de la grosse batterie à bord.

Conclusion

Une chose est certaine, Nikola Motor nous a montré de façon magistrale la supériorité d'un groupe de propulsion-traction électrique pour les camions lourds, tant au niveau des performances que de certains points plus sécuritaires [moindre distance de freinage, plus bas centre de gravité impliquant moins de risque de renversement, système d'antidérapage, meilleure visibilité]. Et le design très aérodynamique du Nikola One avec beaucoup plus d'espace pour la cabine et une meilleure visibilité font sûrement rêver les camionneurs. Toutefois, l'utilisation de l'hydrogène soulève des craintes justifiées en ce qui concerne la sécurité, dû au caractère explosif de ce gaz dont la manipulation serait mise entre les mains de non spécialistes, à grande échelle.

En 2015, Nikola Motor avait opté pour un système hybride incluant une turbine au gaz naturel, mais en 2016 la compagnie se dirige maintenant vers un système incluant une grosse batterie (320 kWh) et une pile à combustible de 200 kW alimentée à l'hydrogène. Ils ont choisi la filière hydrogène liquide et comptent le produire par électrolyse avec de l'énergie renouvelable. Mais, comme nous l'avons vu, cette filière consomme 3,5 fois plus d'électricité qu'un camion électrique dont on recharge la batterie sur le réseau, ce qui se conjugue mal avec le développement durable.

De plus, alors que Nikola Motor estime le coût de son hydrogène à 3,5 \$/kg, le Département de l'énergie étasunien (DoE) a fixé comme objectif 5 \$/kg en 2020, lorsque produit à grande échelle, ce qui ne devrait pas réellement être le cas, compte tenu des retards de la filière hydrogène pour pénétrer le marché. Nous avons soulevé d'autres points également qui démontrent que Nikola Motor est plutôt optimiste quant aux coûts impliqués dans leur projet, ce qui pointe vers un risque financier important. N'oublions pas que les sommes impliquées vont être colossales. Comme nous l'avons vu, ça va prendre à terme l'équivalent en panneaux solaires de la puissance d'environ 10 centrales hydroélectriques comme Manic 5, soit 15 GW! Et c'est sans compter la production et la distribution de l'hydrogène liquide dans 364 stations en Amérique du Nord.

Bien qu'il ne soit pas encore possible présentement d'avoir un camion lourd électrique entièrement à batterie, nous avons vu qu'on pourrait avoir une batterie de 400 kWh environ et un prolongateur d'autonomie au diesel et/ou biocarburant 2G, qui permettraient de parcourir 75 % de ses km à l'électricité et de consommer 8 fois moins de carburant. Il suffirait de faire une recharge lente la nuit et deux recharges rapides le jour (25 minutes).

Ainsi, le système de recharges sur le réseau électrique permettrait, par rapport à la filière hydrogène, de diminuer énormément les coûts d'infrastructure, les risques financiers, de même que la ponction sur les ressources naturelles qui seraient utilisées pour fabriquer 3,5 fois plus de panneaux solaires que nécessaire.