

Position FNAUT sur l'hydrogène

Dans le cadre du « verdissement » des motorisations de véhicules, l'hydrogène est souvent présenté comme la source d'énergie du futur, apte à résoudre tous les problèmes. C'est en effet une solution technique pour faire rouler des bus ou des trains sans émissions locales et de manière décarbonée, à condition qu'il ait été produit à partir d'électricité bas carbone. Si la nécessité de décarboner les transports (et donc les transports en communs) pour lutter contre le dérèglement climatique est indiscutable, **il est dans l'intérêt des usagers et des citoyens que les solutions employées le soient dans une logique de maîtrise des coûts, de qualité de service et d'efficacité. Les coûts pour la décarbonation des réseaux de bus ou de trains régionaux ne doivent pas être un frein au financement du développement de l'offre de transports en commun**, qui est en soi le premier pilier pour une mobilité plus vertueuse. C'est sous cet angle que la FNAUT étudie ici le potentiel de l'hydrogène pour les transports publics.

Résumé : L'hydrogène pourrait avoir son domaine de pertinence pour décarboner les transports, s'il était produit en quantité suffisante à partir d'électricité décarbonée et s'il s'agissait de la solution technologique la plus économique. Or, qu'il s'agisse des ressources en « hydrogène vert », du mauvais rendement énergétique de sa fabrication, ou de la cherté des véhicules qui l'utilisent, **l'usage massif de l'hydrogène pour la mobilité n'optimise a priori pas du tout ni nos ressources énergétiques ni nos finances**. L'utilisation directe de l'électricité, de deux à trois fois plus efficace, est de loin préférable, y compris par recharge de batteries. **L'usage d'hydrogène dans les transports devrait donc logiquement être limité à des usages très spécifiques**, ce n'est pas un carburant miracle et les coûts d'une conversion à l'hydrogène devraient être systématiquement comparés avec d'autres solutions avant de choisir cette technologie, au risque sinon de faire exploser les budgets des collectivités.

De l'hydrogène de toutes les couleurs

Pour décarboner les transports avec de l'hydrogène on a notamment besoin d'une ressource extrêmement demandée dans les décennies à venir pour décarboner de nombreux secteurs : l'« hydrogène vert ».

L'« hydrogène vert » ou « renouvelable » désigne l'hydrogène produit par électrolyse avec de l'électricité d'origine renouvelable, à ne pas confondre avec l'hydrogène « décarboné » qui englobe aussi l'« hydrogène jaune » produit à partir d'électricité nucléaire. L'« hydrogène noir » est issu du charbon, le « gris » est issu du méthane, qui constitue 95% des 900 000 tonnes/an de la production française aujourd'hui, en émettant... beaucoup de CO² ! (Pour une tonne d'hydrogène gris produite, 10 tonnes de CO² partent dans l'air, le double pour le « noir »). Cet hydrogène gris ou noir devient « bleu » si le CO² émis est capturé (technique encore balbutiante et en elle-même coûteuse) !

Cependant, même « vert », l'hydrogène devra être manipulé avec précaution en maîtrisant les fuites : tout comme le méthane, il est en lui-même un gaz à effet de serre, 13 fois plus « efficace » que le CO² ! <https://reporterre.net/Les-fuites-d-hydrogene-rechauffent-le-climat>

L' U.E. souhaite produire 10 millions de tonnes d'hydrogène vert par an avec 40 000 MW d'électrolyseurs, en consommant 500 TWh/an d'électricité renouvelable, ce qui est extrêmement ambitieux. Certains Etats (Allemagne, Belgique...) plaident pour en importer 10 millions de tonnes supplémentaires qui seraient produites en Afrique.... <https://www.lesechos.fr/idees-debats/cercle/opinion-hydrogene-renouvelable-le-mirage-de-lindependance-europeenne-1782219>

Une ressource rare, qui ne sera pas le « couteau suisse » de la transition énergétique

L' « hydrogène vert » est une ressource rare et le restera pendant des décennies. Dans son rapport « The Future of Hydrogen », l'Agence Internationale de l'Energie présente la production et les besoins en hydrogène dans le monde en 2018 : 99,6 % de l'hydrogène mondial est produit actuellement avec du gaz ou du charbon, ou est utilisé en tant que sous-produit d'un process industriel. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen> . Les infrastructures pour produire les quantités d'hydrogène nécessaires à la décarbonation de ces besoins, tout comme le volume d'électricité nécessaire, sont considérables et seront longs à mettre en place :

- La filière de l'hydrogène en convient elle-même par la voix du président de France Hydrogène, Philippe Boucly : « *Les politiques n'ont pas conscience des quantités d'électricité à produire pour remplacer les énergies fossiles. Je vous l'accorde, c'est monstrueux.* » <https://reporterre.net/L-hydrogene-trop-gourmand-en-energie-pour-etre-ecologique> . La filière compte donc sur **un colossal financement public** : « *Un tiers des 430 milliards d'euros nécessaires [dans l'UE] au déploiement de l'hydrogène proviendrait de fonds publics.* »
- Le rapport annuel du Haut-Conseil pour le Climat 2022 <https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2022/06/Rapport-annuel-Haut-conseil-pour-le-climat-29062022.pdf> précise aussi que « Les usages de l'hydrogène produit par électrolyse et à partir d'une source d'électricité décarbonée peuvent apporter une contribution à la neutralité climat, mais ne représenteront pas à ce stade une solution déterminante d'ici 2030. L'hydrogène décarboné peut [devrait !] en premier lieu remplacer l'hydrogène « gris » [ce qui nécessiterait en France 75 TWh/an] (...) L'hydrogène décarboné est à un stade précoce de déploiement et son coût de production par électrolyse de l'eau est actuellement environ quatre fois plus élevé que celui de l' « hydrogène gris ». »
- Le rapport 2022 de RTE sur les différents scénarios de production d'électricité à l'horizon 2050 a également chiffré les conséquences d'une conversion forte à l'hydrogène : Point 10, «Créer un «système hydrogène bas-carbone performant» est un atout pour décarboner certains secteurs difficiles à électrifier » : https://assets.rte-france.com/prod/public/2022-06/FE2050%20Rapport%20complet_9.pdf Les différents usages de l'hydrogène sont détaillés pp 448-449 et suivantes : couvrir les usages actuels et un développement limité de « niches » par de l'hydrogène d'électrolyse en France consommerait 50 TWh/an, devenant 170 TWh/an en cas de développement massif de l'hydrogène (dont 35 TWh/an pour alimenter 35% des camions, ...). Rappelons que la consommation électrique actuelle en France est de 475 TWh/an.
- Michael Liebreich, fondateur et ancien dirigeant de Bloomberg New Energy Finance, a déclaré en 2022 devant le World Hydrogen Congress à Rotterdam : « Avant de penser à de nouvelles applications de l'hydrogène il faudrait déjà décarboner celui qu'on utilise. Avant d'être une solution, [le mode de production actuel de] l'hydrogène est d'abord un problème pour le dérèglement climatique» <https://www.hydrogeninsight.com/analysis/liebreich-hydrogen-is-starting-to-look-like-an-economic-bubble-and-here-s-why/2-1-1334006> . L'expert pense que le « verdissement », rien que prioritairement pour l'hydrogène utilisé actuellement, sera déjà un défi, il ne croit pas que l'hydrogène puisse être « le couteau suisse » de l'énergie car il y aura souvent d'autres possibilités moins chères et plus efficaces, y compris pour les camions (et pour les avions il estime que les besoins sont trop colossaux pour que l'hydrogène soit une solution réaliste).

L'hydrogène par électrolyse est donc extrêmement minoritaire actuellement, et **chaque kilo d'hydrogène vert utilisé pour faire rouler des véhicules ne pourra pas servir à décarboner d'autres secteurs** qui, eux, n'ont pas d'autre choix (comme notamment la sidérurgie, ou bien les raffineries, ou bien la production d'ammoniac et d'engrais)

L'hydrogène « vert » est-il vraiment vert ?

La question se pose, car pour être rentable économiquement et aussi pour des raisons techniques, les électrolyseurs doivent de préférence fonctionner en continu. Peu compatibles donc avec l'énergie intermittente des éoliennes ou surtout du photovoltaïque, ils doivent s'alimenter aussi sur le réseau électrique général. C'est pourquoi, afin de soutenir la filière, l'Union Européenne envisage de fixer un écart maximal de trois mois entre la production de l'électricité renouvelable et son utilisation effective pour électrolyser l'hydrogène, pour que celui-ci soit labellisé « renouvelable » (ce qui conditionne l'octroi de subventions publiques), et peu importe donc que l'électricité alimentant réellement l'électrolyseur en temps réel soit issue de centrales classiques ! .
<https://www.euractiv.fr/section/energie/news/leak-la-reglementation-europeenne-sur-lhydrogene-renouvelable-attendue-pour-le-15-decembre/>

Dans certains pays, l'hydrogène ainsi produit par le mix électrique du moment pourrait avoir une empreinte carbone jusqu'à 50 % supérieure à celle de l'hydrogène actuellement produit à base de gaz fossile, selon plusieurs responsables du CEA :
https://www.lemonde.fr/idees/article/2022/10/18/l-amendement-europeen-otera-a-l-hydrogene-sa-pertinence-pour-reduire-nos-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre_6146249_3232.html « Pour produire de l'hydrogène vraiment « renouvelable » à partir d'énergie solaire ou éolienne, il faut ne faire fonctionner les électrolyseurs que lorsque le réseau reçoit l'énergie renouvelable avec laquelle on souhaite les alimenter [et de préférence depuis une source réellement nouvelle!]. Cela oblige à adapter la charge et la puissance des électrolyseurs à la production renouvelable, et réduit leur taux d'utilisation, se traduisant par des coûts de production de l'hydrogène plus élevés. »

Les électrolyseurs récemment installés en France sont, de fait, alimentés en permanence par le réseau : « mais l'achat de certificats de garantie lui permet tout de même d'être labellisé hydrogène vert » (à Auxerre). Autre présentation à Pau : « L'électricité nécessaire à l'électrolyse de l'eau est produite par des panneaux solaires : une énergie 100% locale et « purement » verte » selon le discours officiel ! Sauf que ces panneaux solaires « seront installés à terme » (... peut-être). L'hydrogène n'y est pas davantage issu des sous produits de l'industrie chimique voisine : l'électrolyseur est tout simplement alimenté par le mix électrique du réseau....

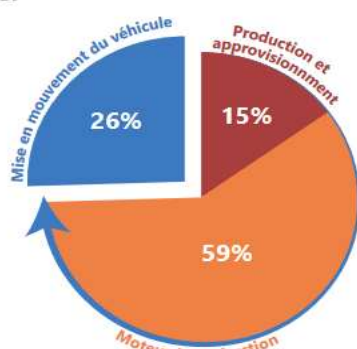
La notion d' « hydrogène vert » conduit à des dérives, en branchant des électrolyseurs sur des sources d'électricité qui sont peut-être renouvelables, mais pas « nouvelles », ce qui revient à détourner l'électricité vers une filière trois fois moins efficace... . Ainsi, pour les bus destinés à Créteil (ou pour les bennes à ordures de Dijon) l'hydrogène sera produit par un électrolyseur alimenté en électricité par l'incinération d'ordures ménagères. Non seulement la production de l'électricité nécessaire aura été génératrice de CO², mais en plus, au lieu d'être envoyée directement dans le réseau électrique, elle sera captée par l'opération d'électrolyse ! Pour utiliser 1 kWh à bord du bus, il sera nécessaire de produire 3 kWh en amont ! Économiquement et écologiquement, c'est une vraie aberration. Pourquoi parle-t-on dans ce cas "d'hydrogène vert" ?

Hydrogène et mobilité : autant utiliser directement l'électricité !

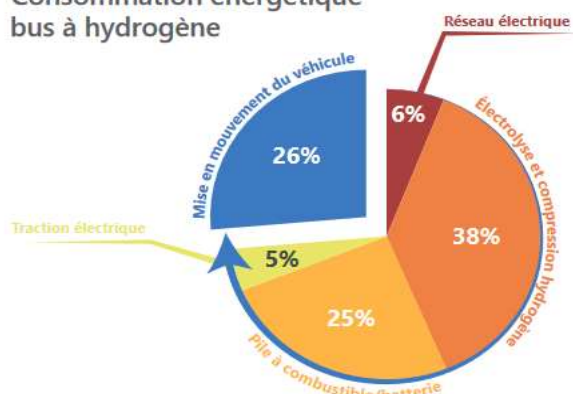
Outre le manque actuel d'hydrogène vert, généraliser l'hydrogène pour des applications pouvant utiliser l'électricité conduit très vite à des volumes d'énergie colossaux, ce qui est problématique écologiquement et économiquement. Le plus grand défi à relever par la filière hydrogène c'est son inefficacité énergétique : cela est dû au bilan énergétique très défavorable de l'hydrogène produit par électrolyse : le rendement global électricité > électrolyseur > pile à combustible > électricité est actuellement de l'ordre de 25 à 30 % seulement !

On est sur un ordre de grandeur de facteur 2,5 ou 3 sur l'électricité nécessaire pour faire avancer un véhicule à hydrogène par rapport à un véhicule électrique par batteries ou directement par caténaire, selon le Livre Blanc du cabinet Trans-Missions : https://www.trans-missions.eu/wp-content/uploads/2021/11/Livre-blanc-TM_D%C3%A9carbonation_des_bus.VF_.pdf Le diagramme ci-après, qui en est extrait, illustre en bleu l'énergie finalement utile, selon les motorisations des véhicules :

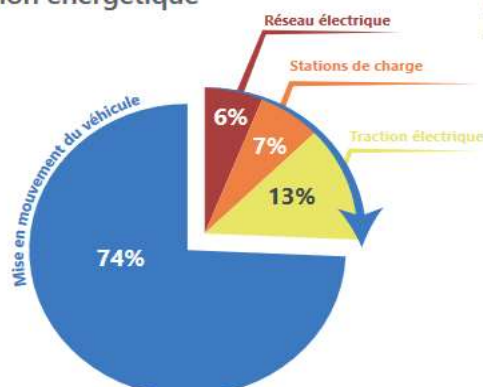
Consommation énergétique moteur diesel



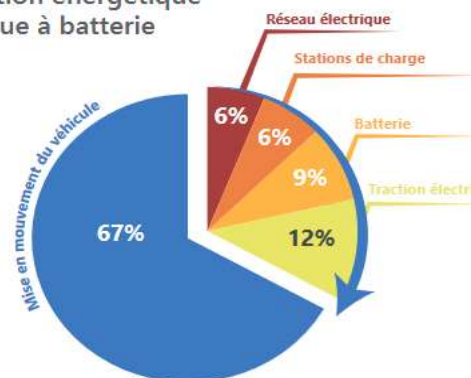
Consommation énergétique bus à hydrogène



Consommation énergétique trolleybus



Consommation énergétique bus électrique à batterie



transmissions

Figure 5 - Comparaison de l'efficacité énergétique des véhicules zéro émission (source : KCW, à partir des données de la TU Dresden et de l'Öko-Institut)

C'est également pour cette raison que les cabinets spécialisés dans la transition écologique voient un intérêt limité pour l'hydrogène dans les transports :

« Quand on lit [dans Les Échos du 28/09/22] que le plan hydrogène français concerne surtout la mobilité, il est à craindre que notre pays ne prenne à nouveau un vrai problème par le mauvais bout. Cette mobilité hydrogène peut éventuellement concerner des applications de niche (un train ici ou là), mais il y a des alternatives plus pertinentes pour l'essentiel de la mobilité des personnes et des marchandises que de se jeter sur ce vecteur à la mode. » « En France, pour remplacer tous nos carburants par de l'hydrogène obtenu par électrolyse à partir d'électricité, il faudrait doubler la production électrique totale ... Dans le domaine des transports, nos enfants seront morts que nous n'aurons toujours pas l'aptitude à remplacer par de l'hydrogène « propre » une fraction significative des 3 milliards de tonnes de carburants consommés dans le monde en 2019 » (J.M. Jancovici) <https://jancovici.com/publications-et-co/articles-de-presse/sus-a-lhydrogene/>.

«Carbone 4 ne propose pas d'utiliser l'hydrogène de manière significative dans les transports. Les raisons à cela sont :

- le volume d'électricité nécessaire. Les poids lourds c'est actuellement 8 millions de tonnes de pétrole par an en France. Pour avoir la même énergie sous forme d'hydrogène (sachant que les rendements d'une pile à combustible et d'un moteur de poids lourd sont proches) il faudrait environ un tiers de la production électrique actuelle ; il en faudrait 3,5 fois moins pour une propulsion directe à l'électricité en posant des caténaires sur les autoroutes et les principales routes. [et on pourrait amplifier notablement cette efficacité avec... une voie ferrée électrifiée, mode de transport décarboné immédiatement disponible ! ...]
- la logistique de l'hydrogène. Gaz le moins dense énergétiquement par unité de volume, son stockage et sa manutention sont très coûteux énergétiquement. Molécule la plus petite de notre environnement, ce gaz s'infiltré par la moindre fissure et fragilise l'acier : il faut modifier les réseaux ou en construire de nouveaux » (JM Jancovici)

De fait le stockage de l'hydrogène prend beaucoup de place : de 8 à 10 fois plus que le gazole si on le stocke sous pression de 500 bar, et 4 fois plus en le stockant sous forme liquide à -253°C !

Par ailleurs la problématique de la sécurité à bord des véhicules est rarement abordée. Or l'hydrogène fuit très facilement par la moindre fissure ou le moindre défaut d'étanchéité, et est très inflammable et explosif. Et les étincelles sont nombreuses dans le domaine des transports : freinage, contacts électriques, etc...

Un électrolyseur consommant 1 MW d'électricité produit 350 kg d'hydrogène par jour (un bus en consomme 15 à 20 kg/jour, jusque 30 kg/jour pour un bus articulé) au coût 2021 de 12 € le kilo (avant les hausses de 2022) . L'objectif des producteurs est de diviser ce coût par 2 pour qu'il devienne compétitif avec le diesel. https://www.francetvinfo.fr/meteo/climat/a-auxerre-une-station-hydrogene-permet-de-faire-rouler-cinq-bus-du-reseau_4806149.html .

Cet article de Médiacités fait aussi un bon tour d'horizon de l'engouement des collectivités locales pour l'hydrogène : <https://www.mediacites.fr/enquete/national/2023/01/02/la-ruee-vers-lhydrogene-vert-donne-le-tournis-aux-villes-et-aux-regions/>

Une technologie en général plus chère que d'autres solutions de décarbonation dans les transports terrestres

Que ce soit pour la décarbonation des trains ou des bus diesel, **l'hydrogène représente dans la très grande majorité des cas l'option la plus coûteuse et la moins efficace sur l'ensemble du cycle de vie :**

- Dans le cas des trains, diverses études sur l'électrification de lignes régionales en Allemagne (Schleswig-Holstein, Berlin/Brandenburg, Baden-Württemberg...) concluent à la pertinence de compléter les électrifications ou d'utiliser des trains hybrides à batteries utilisant **la caténaire sur les portions électrifiées (y compris en créant des « îlots électrifiés » autour de certaines gares) et des batteries (usuellement d'une autonomie d'environ 80 km) pour les portions non électrifiées.** Une étude d'Octobre 2022 pour 16 lignes du réseau ferroviaire en Bade-Württemberg ne suggère un passage à l'hydrogène pour aucune des lignes étudiées : <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/mobilitaet-verkehr/schiene/elektrifizierung-schienenstrecken/>. <https://www.railjournal.com/fleet/baden-wuerttemberg-rejects-hydrogen-as-diesel-alternative/>. Plusieurs autres études comparatives privilégient aussi les trains à batteries plutôt que des trains à hydrogène <https://www.revolution-energetique.com/transports-ferroviaires-lhydrogene-est-trop-cher/> ou bien <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/train-batterie-bombardier-hydrogene-killer-61277/>. Sur des automotrices le coût de l'hydrogène « vert » reviendrait à 3,3 €/km contre 0,50 €/km en alimentation par une caténaire. Cependant des trains à hydrogène seront en circulation sur quelques lignes dans un futur proche outre-Rhin, en général du fait d'une volonté politique forte d'implanter à tout prix l'hydrogène dans le tissu économique local.
- Dans le cas des bus urbains à hydrogène, l'abandon par la Métropole de Montpellier du déploiement d'une flotte de des 50 bus à hydrogène pour s'orienter vers des bus à batteries a également mis en lumière **les énormes coûts de de cette technologie** pour le contribuable. **Les coûts d'exploitation auraient été six fois plus élevés** qu'avec une solution avec des bus électriques (<https://www.h2-mobile.fr/actus/pourquoi-montpellier-abandonne-bus-hydrogene/>). A Auxerre, où plusieurs bus roulent à l'hydrogène « vert », le prix du plein est deux à trois fois plus élevé qu'avec du gazole.

Même si les coûts des véhicules hydrogène ont diminué fortement ces dernières années (on est en 2022 proche des 600-700.000 € pour un bus de 12m pour une autonomie d'au moins 300 km, contre 450-600.000 € pour un bus à batterie, dont l'autonomie atteint maintenant 250 km...) cela reste le double d'un bus au gaz ou le triple d'un bus diesel aux dernières normes...

De fait, les projets actuels sont très fortement subventionnés lors de l'investissement : A Auxerre « chaque bus à hydrogène pourrait ne revenir qu'à environ 50.000 € à la collectivité de l'Auxerrois, pour un prix de départ de 650.000 € » https://www.lyonne.fr/auxerre-89000/economie/le-projet-de-bus-a-hydrogene-de-l-agglo-d-auxerre-sera-aide-par-l-etat_13554561/ « Pau a bénéficié de financements exceptionnels pour abaisser les prix au point que Fébus ne coûte pas un euro aux contribuables de Pau et de l'Agglomération » selon <https://www.pau.fr/article/pourquoi-febus-est-bien-une-premiere-mondiale> .

Les frais d'exploitation des véhicules à hydrogène sont ensuite très élevés, en grande partie à cause des coûts en énergie, mais aucune subvention future n'est évoquée à ce titre. Les coûts de maintenance restent à évaluer en fonction de la durée de vie de la pile à combustible et des batteries.

L'industrie du bus européenne penche d'ores et déjà pour les bus électriques à batteries, dont les performances ont fait de gros progrès ces dernières années. Les motorisations hydrogène ne sont proposées que par 4 ou 5 constructeurs. A voir les ventes de bus en fonction de différents pays en 2020, l'hydrogène y est très peu présent : <https://www.sustainable-bus.com/news/european-countries-electric-buses-city-bus-registrations/> (A noter : chez nos voisins néerlandais, quasiment 80 % des nouveaux bus sont électriques à batteries).

Le trolleybus pourrait faire aussi son retour dans une version rechargeable : une batterie de petite taille suffit pour franchir les tronçons sans caténaires (centre ville historique ou extrémités de lignes) et la recharge se fait sur les parties électrifiées avec un rendement maximal, plus élevé de 10% (trons communs à plusieurs lignes, ...). De plus une batterie de poids réduit est d'autant plus appréciable sur un véhicule « urbain » soumis à de fréquents arrêts.

A l'heure où l'on cherche à faire des économies d'énergie partout, utiliser de l'hydrogène dans des secteurs qui peuvent être électrifiés directement est donc paradoxal et cher pour le contribuable. Des véhicules plus chers à l'achat aussi bien qu'en exploitation font courir **le risque que le service aux usagers soit réduit** d'autant, les budgets n'étant pas extensibles à l'infini....

Mais alors quel serait l'intérêt d'une motorisation hydrogène sur des véhicules ?

Les promoteurs de la filière hydrogène pour la mobilité mettent en avant **la plus grande autonomie, la rapidité de recharge, et un moindre usage de métaux rares**. <https://www.h2-mobile.fr/actus/etude-le-developpement-mobilite-hydrogene-accelere-france/> . L'Union européenne prévoit de faire rouler d'ici 2030 cent mille camions à l'hydrogène décarboné, objectif très modeste au regard des trois millions de camions qui parcourent l'Europe (ce qui nécessitera déjà 92,4 TWh/an soit un cinquième de l'électricité consommée annuellement en France).

Cette cartographie précise les projets en cours incluant des véhicules à hydrogène : <https://www.france-hydrogene.org/la-mobilite/> Plusieurs usines d'électrolyse de 200 MW sont en projet en France pour couvrir des besoins industriels (80%) et de mobilité lourde (20%), à Fos pour 2027 (puissance triplée en 2032), au Havre, à Dunkerque, ... Des électrolyseurs jusqu'à 5000 MW sont en projet dans le monde.

Transports aérien et maritime : des options plus limitées...

Concernant le transport aérien, qu'il s'agisse d'hydrogène ou de batteries, aucune solution viable n'apparaît à moyen terme en raison de deux obstacles rédhibitoires, le poids et la quantité de carburant à embarquer. Un A320 de charge utile 70 tonnes parcourant 1000 km consommerait 30 MWh, ce qui nécessiterait 100 tonnes de batteries (une batterie stocke 0,3 kWh/kg). L'électricité ne s'envisage actuellement que pour de petits avions (19 places) sur de petits trajets [faisables en train la plupart du temps].

Quant à l'hydrogène, il nécessite des réservoirs très lourds et d'encombrement quatre fois supérieur au kérosène. L'hydrogène présente des risques et soumettra les pièces mécaniques à rude épreuve car il brûle à des températures bien plus élevées que le kérosène.

Un A320 volant 10 heures par jour consommerait 10 tonnes d'hydrogène, soit la production du plus gros site actuel en UE [correspondant à 30 MW d'électrolyseurs]: il faudrait construire une usine par avion ! (Hubert Assier, Airbus) Une équipe de chercheurs de Toulouse a estimé qu'il faudrait 16 réacteurs nucléaires rien que pour alimenter en hydrogène l'aéroport Paris CdG. <https://france3-regions.francetvinfo.fr/occitanie/haute-garonne/toulouse/toulouse-chercheurs-critiquent-airbus-sa-promotion-avion-hydrogene-1878868.html>

L'aviation mondiale consomme actuellement un milliard de litres de kérosène par jour. A supposer que cela marche, en 2050, les besoins mondiaux de l'aviation en hydrogène se chiffrent à 40-50 millions de tonnes à l'année.

En outre il a été estimé que les émissions de vapeur d'eau seraient 2,6 fois plus importantes que celles dues aux carburants fossiles, produisant ainsi plus de traînées de condensation : le gain sur les émissions de gaz à effet de serre de l'aviation ne serait en fait que de 31% (en intégrant une hausse du trafic) <https://www.deplacementspros.com/transport/climat-lavion-a-hydrogene-une-solution-mais-pas-la-panacee-selon-une-etude>

En attendant, l'aviation envisage des carburants synthétiques « Power-to-Liquid » produits avec un rendement présumé de 70% à partir de l'hydrogène, en le combinant avec du CO2 contenu dans l'air.

Le transport maritime regroupe 100 000 navires dans le monde et émet 13,5% des gaz à effet de serre dans l'UE. Un premier ferry à hydrogène a été lancé en Norvège, alimenté par deux piles à combustible de 200 kW. L'hydrogène est stocké dans une cuve de 80 m³ à -253°C. Un autre projet en Occitanie envisage d'embarquer 1700 kg d'hydrogène sous 500 bars, des analyses de risques sont en cours. Pour les plus grands navires, des solutions hybrides hydrogène et batteries (pour lisser les pointes de charge) sont à l'étude. Et le vent soufflant dans des voiles modernes permettrait 30% de gains.... (Vincent Rudelle, LMG Marin)

L'autonomie nécessaire semble exclure des solutions purement électriques, qui seraient très pertinentes néanmoins pour les bateaux de petite taille et sur de petits trajets (plaisance, ferries, ...) ou pour l'alimentation à quai. La Chine vient de mettre en service un grand bateau de croisières sur le Yang Tsé, équipé de 7500 kWh de batteries, pour une autonomie de 100 kilomètres. Un ferry norvégien équipé de 4300 kWh de batteries fait des traversées de 30 mn avec recharge rapide de 9 MW à chaque extrémité. <https://www.bateau-electrique.com/actualites/>

Conclusion : en matière de mobilités l'hydrogène doit rester sur une utilisation de niche

Loin d'être le carburant miracle souvent promu, le faible rendement du passage par le « vecteur » hydrogène et le coût de cette technologie font préférer pour les véhicules, et de loin, l'utilisation directe de l'électricité chaque fois qu'elle est possible, que ce soit par batteries ou par caténaires, ce qui permet un gain d'efficacité énergétique d'un facteur 2,5 à 3.

Janvier 2023

Gilles Laurent, avec l'appui de Fabien Laurent, KCW

Ce document fait souvent référence à des puissances ou à des quantités d'énergie électriques. Quelques brefs rappels : La puissance s'exprime en watts (W) mais comme il s'agit d'une unité très petite on préfère le kW (votre abonnement est de 6 ou 9 kW ou kVA), et les industriels parlent en MW (méga-watt, 1000 kW). Les tranches de production en France sont de 600 MW au charbon, de 900 à 1450 MW en nucléaire, une centrale regroupe plusieurs tranches sur un même site. On considère qu'une ville d'un million d'habitants consomme 1000 MW, auxquels s'ajoute l'industrie. La consommation globale en France est de 40 000 MW en été, de 60 000 MW en hiver, pouvant atteindre 100 000 MW en cas de très grand froid sur tout le pays : la particularité française est que, quand les températures baissent, la consommation augmente de 2400 MW par degré.

La quantité d'énergie se mesure en Joule (un watt pendant une seconde) ou en watt-heure, là encore une petite unité qui fait préférer le kWh (sur votre facture) ou le MWh pour les industriels. Au niveau électrique global on parle de TWh (téra-wattheure, milliards de kWh). La consommation sur le réseau en France est de 475 TWh, stable depuis 10 ans.

Un électrolyseur de 100 MW fonctionnant en permanence consommerait chaque année 876000 MWh et produirait environ 13000 tonnes d'hydrogène, soit 35 tonnes par jour.