


AVENUE



Edition de printemps 2020

Hydrogène
et synfuels

Les carburants de l'avenir

A portrait of Dr. Roland Bilang, a man with glasses and a suit, is overlaid with a semi-transparent teal filter. The text is positioned in the bottom left corner of the image.

« Tout indique que l'hydrogène s'imposera. Non pas pour remplacer, mais pour compléter les combustibles fossiles, qui resteront indispensables à l'avenir. »

Dr. Roland Bilang
Directeur Avenergy Suisse

Un proverbe chinois dit : « Quand ce n'est pas le moment, personne ne peut le faire. Et quand le moment est venu, nul ne peut l'empêcher. »

On parle de l'hydrogène depuis plus de 20 ans. Beaucoup d'efforts ont été déployés pour favoriser cette technologie. Pendant longtemps, elle n'a guère dépassé le stade de l'expérimentation. Les véhicules à pile à combustible fonctionnant à l'hydrogène étaient considérés comme des produits de niche. C'est encore le cas aujourd'hui, mais tout indique que l'hydrogène s'imposera. Non pas pour remplacer, mais pour compléter les combustibles fossiles, qui resteront indispensables à l'avenir. Et aussi le véhicule électrique à batterie, chouchou des milieux politiques.

La branche assure aujourd'hui la sécurité d'approvisionnement du secteur de la mobilité avec l'essence et le diesel, qui ont fait leurs preuves depuis belle lurette. Elle approvisionne quotidiennement le pays avec ces vecteurs énergétiques liquides indispensables. Parallèlement à cela, elle contribue au développement de carburants neutres en CO₂. Ce qui s'applique aujourd'hui à l'essence et au diesel s'appliquera également aux alternatives neutres en CO₂ à l'avenir. Les membres d'Avenergy Suisse sécurisent ces approvisionnements.

Par rapport à la batterie, l'hydrogène offre des avantages significatifs pour la mobilité électrique, en tant que mode de stockage de l'énergie. Notamment une plus grande autonomie, un ravitaillement plus rapide et aussi le faible poids de l'hydrogène en tant que vecteur énergétique.

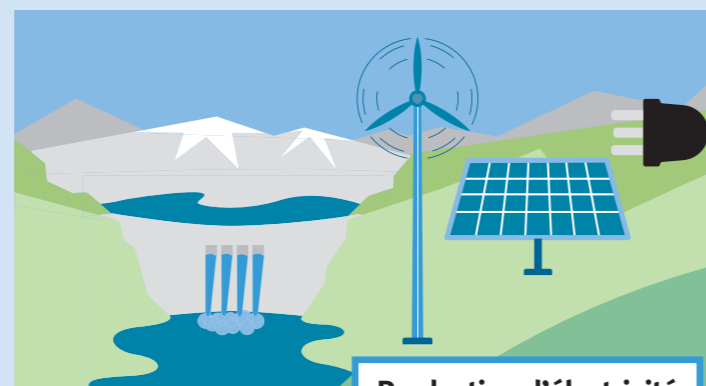
D'un point de vue technique, les solutions utilisant l'hydrogène ne sont adaptées à une production de masse que depuis quelques années. Cela concerne aussi bien la production d'hydrogène par électrolyse que les piles à combustible. Il s'avère maintenant que la technologie est prometteuse et compétitive dès la phase initiale, notamment parce que ce vecteur énergétique est exonéré de taxes. On peut supposer que les prix continueront de baisser à mesure que la technologie s'imposera.

L'hydrogène n'est pas la seule technologie écologique sur laquelle la branche travaille en Suisse. Il existe déjà des techniques permettant de produire du méthane de synthèse renouvelable (comparable au gaz naturel), et même du diesel. Elles ne sont cependant pas encore adaptées à une production de masse. Mais grâce à elles, des carburants totalement neutres en CO₂ seront disponibles pour l'aviation à l'avenir.

Le moment est-il venu, pour l'hydrogène et les autres énergies alternatives, de compléter les combustibles fossiles ? A vous de juger !

De l'eau

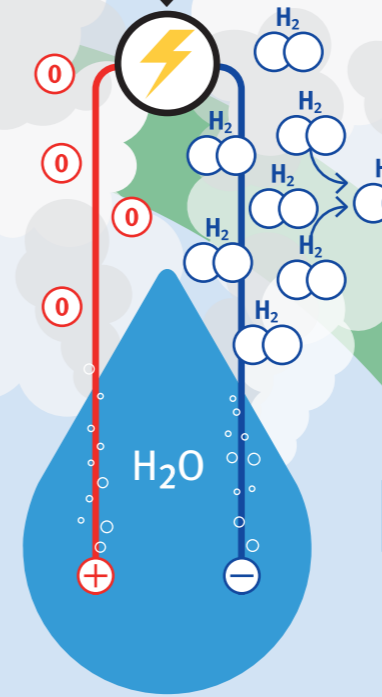
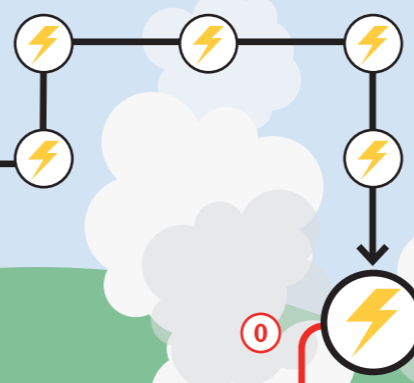
à l'eau



Production d'électricité renouvelable

Sources d'énergie durables

Il n'est possible de produire de l'hydrogène climatiquement neutre qu'à partir d'électricité de sources renouvelables (hydraulique, éolienne, solaire).

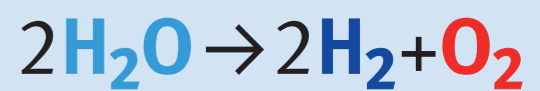


Electrolyse de l'eau

Production d'hydrogène par électrolyse

L'électrolyse de l'eau est un processus consistant à décomposer l'eau en hydrogène H_2 et oxygène O_2 , grâce à un courant électrique.

L'eau (H_2O) est soumise à un courant électrique continu, ce qui a pour effet de produire de l'hydrogène (à la cathode $-$) et de l'oxygène (à l'anode $+$) qui remontent à la surface de l'eau et sont collectés à l'état gazeux. L'hydrogène représente exactement le double de l'oxygène en volume.



Réaction de l'électrolyse de l'eau



Henry Cavendish découvre l'hydrogène par hasard.



Wolfgang Amadeus Mozart est âgé de 10 ans en 1766. Mais c'est une autre histoire...

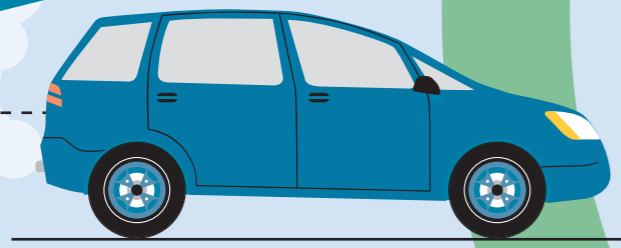
250 ans plus tard



Les voitures à pile à combustible ne rejettent que de la vapeur d'eau.

L'eau redevient de l'eau.

La vapeur d'eau émise est renvoyée dans l'environnement.

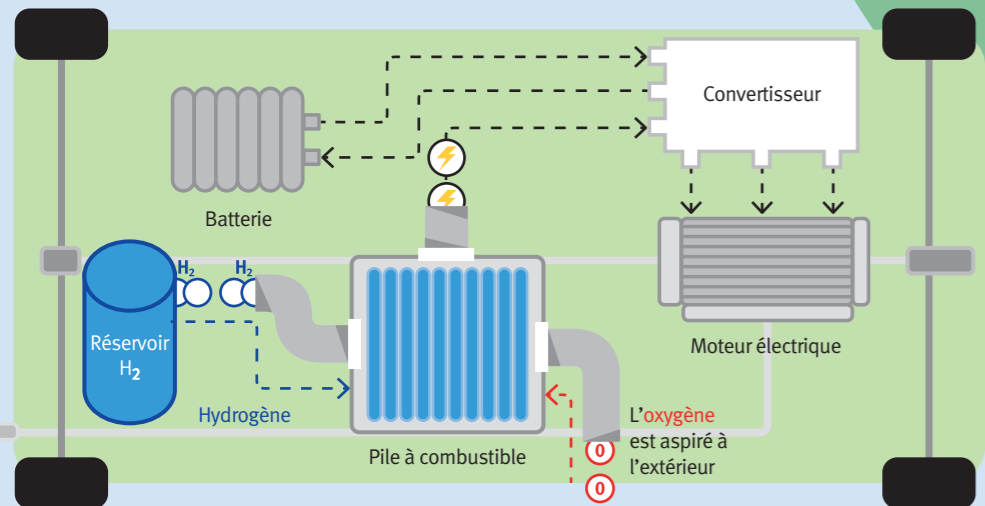


Véhicule électrique à pile à combustible H_2

Un véhicule électrique à pile à combustible produit sa propre électricité à partir d'hydrogène H_2 et d'oxygène O_2 .

Consommation dans la pile à combustible

Comment fonctionne une pile à combustible?



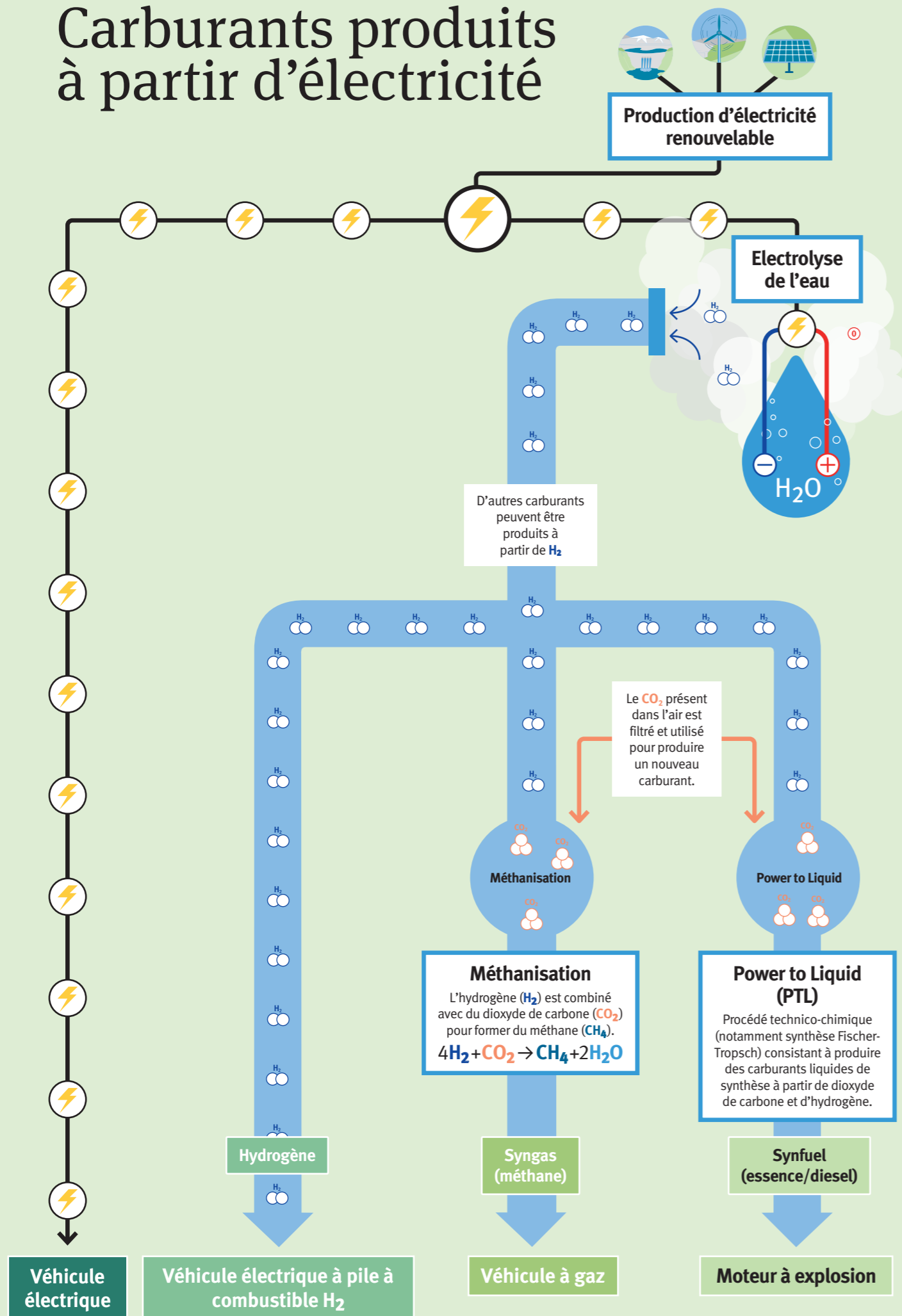
Stockage, transport et vente

Stockage, transport et vente d'hydrogène

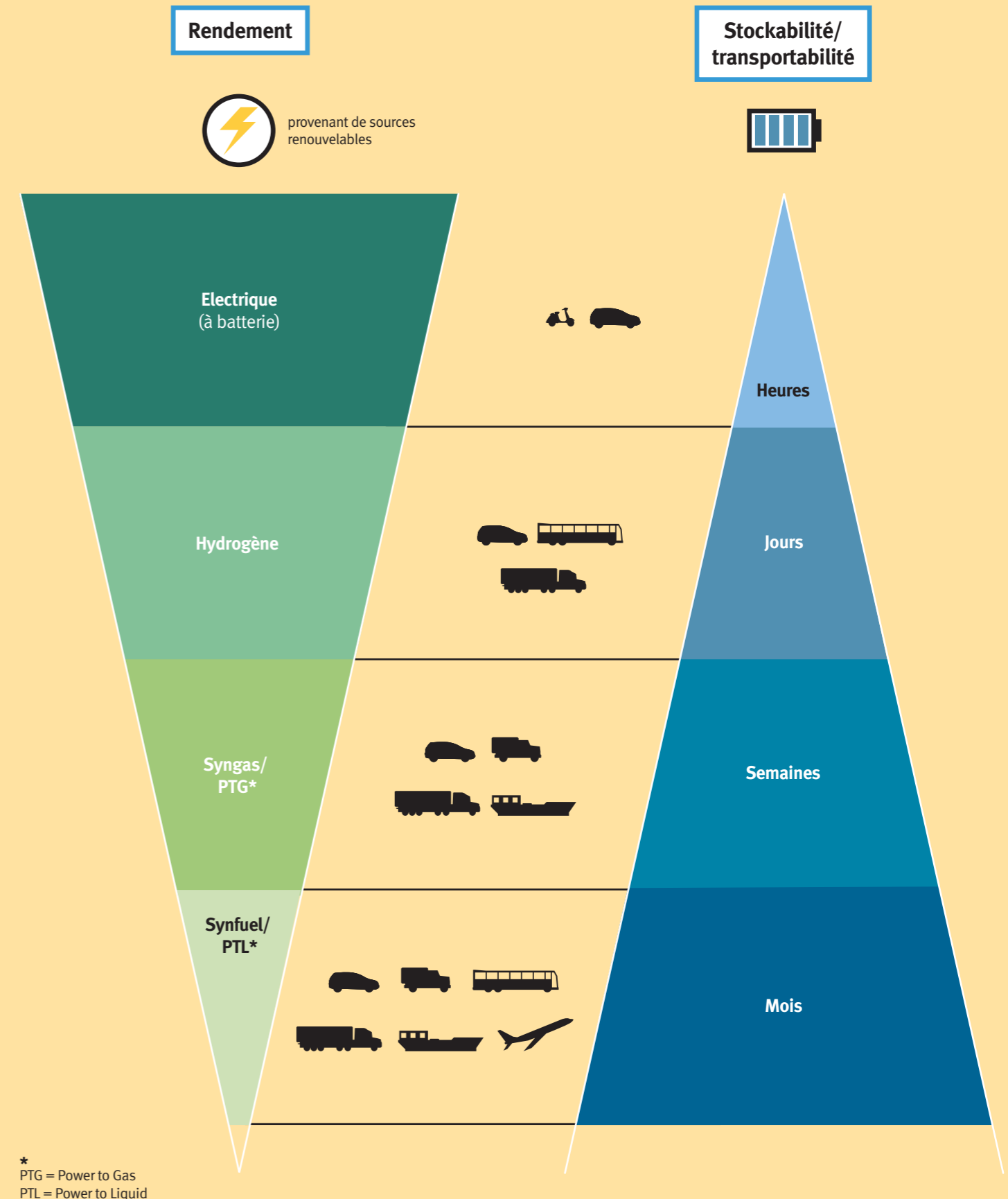
L'hydrogène gazeux peut être stocké et transporté sans problème. 1 kg de H_2 produit à peu près la même quantité d'énergie que 4 litres d'essence.



Carburants produits à partir d'électricité



Rapport performance/effet



8 « L'hydrogène : un complément aux carburants fossiles et une alternative aux batteries »

En Suisse, l'hydrogène peut apporter une contribution précieuse à une mobilité plus compatible avec le climat. La branche prend des mesures importantes dans ce sens, déclare Fabian Bilger, responsable de HHSE et directeur adjoint Avenenergy Suisse.



« Oui, les voitures à hydrogène sont désormais utilisables au quotidien. »

Fabian Bilger
Directeur adjoint Avenenergy Suisse

Monsieur Bilger, on évoque souvent l'hydrogène dans le domaine de la mobilité. Quelle est l'efficacité de ce gaz ?

Fabian Bilger : 1 kilo d'hydrogène contient près de deux fois et demie plus d'énergie que 1 kilo de diesel ou d'essence. Ce gaz est donc un très bon vecteur d'énergie pour la mobilité, où l'on a besoin d'un maximum d'énergie avec le moins de poids possible. Mais en raison de sa légèreté et de sa volatilité, il n'est pas si facile à stocker et à transporter. A bord des véhicules, l'hydrogène est souvent stocké sous haute pression. Cela nécessite une infrastructure appropriée dans les stations-service.

Cette technologie est-elle également neutre en CO₂ ?

Localement – donc s'agissant de l'électricité produite par une pile à combustible embarquée – oui. Ce processus ne produit que de la vapeur d'eau. Comme pour tous les vecteurs d'éner-



gie alternatifs, il faut se pencher sur le processus de production. L'hydrogène est un produit de masse. On en consomme environ 60 millions de tonnes chaque année dans le monde, notamment dans l'industrie. La majeure partie provient du reformage de gaz et de charbon. Mais l'hydrogène ainsi produit n'est pas assez pur pour alimenter une pile à combustible. Pour cela, on a besoin d'hydrogène produit par électrolyse de l'eau. Si l'électricité nécessaire est neutre en CO₂, l'hydrogène ainsi obtenu l'est aussi.

L'hydrogène n'est-il pas aussi un gaz à effet de serre ?

L'hydrogène est un gaz à effet de serre dit indirect. Il peut prolonger la vie d'autres gaz à effet de serre, en particulier le méthane et l'ozone. Mais nous parlons là de l'hydrogène qui est perdu avant d'être utilisé, par exemple en raison de fuites dans les systèmes de stockage et de transport. Après utilisation, le gaz est déjà lié pour former de l'eau. Il existe encore peu d'études sur l'effet résiduel de l'hydrogène sur le climat s'il devenait le principal vecteur d'énergie. Des scientifiques britanniques ont calculé que le système énergétique mondial n'aurait que six millièmes de son impact climatique actuel s'il se convertissait entièrement des carburants fossiles à l'hydrogène. Ce serait un immense pas vers la neutralité CO₂.

Qu'est-ce qu'une voiture à hydrogène et comment ça marche ?

La voiture à hydrogène est électrique. Comme dans les véhicules purement à batterie, les roues sont entraînées par des moteurs électriques. L'électricité provient également d'une batterie, dite « de traction ». Mais celle-ci est beaucoup plus petite, donc plus légère. Elle est constamment chargée en roulant, grâce au courant produit par la pile à combustible lors de l'oxydation de l'hydrogène.

Les véhicules sont ravitaillés en hydrogène gazeux. La pression dans le réservoir du véhicule est de 700 bars pour les voitures et de 350 bars pour les poids lourds. L'autonomie avec un plein de carburant est comparable à celle d'un véhicule thermique classique. Elle se situe entre 400 et 700 kilomètres.

Quels sont les avantages des véhicules à hydrogène animés par une pile à combustible ?

Les principaux avantages sont certainement la vitesse des ravitaillements et l'autonomie. Notamment dans les régions froides, il est en outre intéressant que le véhicule puisse être chauffé avec la chaleur résiduelle de la pile à combustible plutôt que par l'énergie électrique de la batterie, afin de ne pas pénaliser l'autonomie. Et, bien sûr, vous conduisez une voiture électrique avec tout ce que cela implique, comme le silence à bord, les accélérations franches, la simplicité d'entretien et la possibilité de récupérer l'énergie de freinage.

Et quels sont les avantages en termes de système énergétique ?

De ce point de vue, l'hydrogène est un

Il existe encore peu d'études sur l'effet résiduel de l'hydrogène sur le climat s'il devenait le principal vecteur d'énergie.



moyen gratifiant de stocker le courant. Avec le passage à une électricité de plus en plus flottante, issue du vent et du soleil, et qui n'est pas nécessairement produite au moment où nous en avons besoin, nous dépendons d'un stockage intermédiaire. Le stockage saisonnier, en particulier – c'est-à-dire le fait de consommer en hiver le surplus d'électricité produite l'été –, est possible à grande échelle, en Suisse, grâce à l'hydrogène. La possibilité de vendre de l'énergie sous forme d'hydrogène aide également les producteurs d'électricité éolienne ou solaire à exploiter leurs installations de manière rentable. En période de bas prix de l'électricité, les exploitants de parcs éoliens ou solaires disposent d'un second marché permettant de vendre l'énergie à des prix plus stables. L'hydrogène contribue donc à l'expansion des énergies renouvelables, car il rend les investissements dans ces installations plus rentables et plus sûrs.

Les véhicules à hydrogène sont-ils adaptés à un usage quotidien et peuvent-ils remplacer les voitures à essence et diesel ?

Oui, c'est le cas aujourd'hui. Les piles à combustible sont durables et résilientes. Elles fonctionnent même dans des milieux hostiles, par exemple des températures hivernales de -30°C . De

plus en plus de constructeurs automobiles ont déjà un véhicule à hydrogène dans leur gamme – surtout Toyota, Hyundai, Honda et Mercedes – ou sont très avancés dans leurs projets de développement. Le principal obstacle à la diffusion de cette technologie reste l'absence d'un réseau de stations d'approvisionnement en hydrogène. Une telle infrastructure est actuellement développée en Suisse par l'industrie, en étroite coordination avec les constructeurs automobiles.

Comment ce réseau suisse de stations-service de H₂ se développe-t-il ?

L'association Mobilité H₂ Suisse a été fondée dans ce but, en mai 2018. Les adhérents sont des entreprises renommées : Agrola, AVIA, Coop, Coop Mineraloel AG, fenaco, Migrol, Migros, SOCAR, Emil Frey, Shell,

Galliker Transport & Logistics, Camion Transport, G. Leclerc Transport, F. Murpf, Tamoil, Chr. Cavegn AG et Emmi Suisse. Il s'agit donc d'exploitants de stations-service ou de flottes, tous très intéressés par la technologie de l'hydrogène. Ils se sont déclarés prêts à mettre sur pied l'infrastructure de stations-service en Suisse sur une base privée et à exploiter une flotte de camions qui utilisera ensuite cette infrastructure à pleine capacité.

Comment le réseau de stations-service de H₂ se présente-t-il à l'étranger ?

Des stations-service d'hydrogène existent aussi à l'étranger et certains réseaux sont déjà bien développés. Les régions les plus importantes sont la Californie, suivie du Japon. En Europe, le réseau pour véhicules légers est déjà assez étendu, notamment en Allemagne, où l'on dénombre près de 100 stations-service. Sinon, la distribution est principalement concentrée dans des villes comme Londres ou Copenhague. En Suisse, trois stations d'approvisionnement en H₂ sont en service actuellement. Mais 20 autres sont en projet, sur une base exclusivement privée.

Les piles à combustible sont durables, résilientes et peuvent fonctionner même par des températures hivernales de -30°C .

Investir pour mieux se diversifier

Pour Martin Osterwalder, de la station-service AVIA Osterwalder St. Gallen AG, l'installation de la colonne à hydrogène la plus efficace au monde représente un investissement à long terme.



Les clients attendent l'ouverture.

Martin Osterwalder
Station-service AVIA Osterwalder St. Gallen AG

Quand vous arrivez à Saint-Gall depuis l'ouest, par l'Oberstrasse, le long de la voie ferrée, vous ne pouvez pas manquer les deux grands silos de la station-service AVIA Osterwalder St. Gallen AG, sur votre droite. D'après Martin Osterwalder, la colonne de ravitaillement en H₂ la plus performante au monde y est en construction. Une douzaine de véhicules d'affilée peuvent être approvisionnés en hydrogène. Ce n'est qu'ensuite qu'une pression supplémentaire doit être générée dans le système pour assurer les ravitaillements ultérieurs, se réjouit Martin Osterwalder. « Mais c'est purement théorique, car on ne fait pratiquement jamais le plein de douze véhicules d'affilée. La colonne est donc prête à l'usage à tout moment. »

L'intérêt des médias pour l'inauguration prévue le 17 avril 2020 a été considérable. Il y a eu plus de 60 inscriptions. « Nous avons été dépassés », confie Martin Osterwalder. Mais le coronavirus a mis des bâtons dans les roues de ce projet pionnier : « Certains éléments sont restés bloqués à la douane en Italie, et les ingénieurs allemands n'ont pas pu venir travailler à Saint-Gall en raison des restrictions. »

L'inauguration sera donc hélas retardée. « L'énorme intérêt manifesté ne se limite pas aux médias, il est partagé par les clients qui attendent l'ouverture de la station-service. » Notamment diverses entreprises de la région. Et, depuis peu, le parc automobile de la police cantonale saint-galloise compte également des voitures à pile à combustible (Hyundai Nexo). Les premiers véhicules pourront être ravitaillés à partir de mai. Martin Osterwalder se dit confiant : « Nous mettons discrètement l'installation en service et pensons pouvoir reporter la cérémonie d'inauguration à l'été. »

Afin de garantir en tout temps son approvisionnement en hydrogène, l'entreprise a conclu un accord de partenariat avec SAK (St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke AG) et s'est octroyé une part d'un électrolyseur de 2 mégawatts. L'exploitant de la station-service produit donc lui-même l'hydrogène dont il a besoin. Martin Osterwalder trouve cela logique : « Dans le négoce de carburants, nous dépendons toujours des fournisseurs. Mais en investissant dès maintenant dans cette nouvelle technologie, nous voulons aussi être impliqués dans la production de H₂. »

En tant qu'exploitant de station-service, Martin Osterwalder a dû créer un modèle commercial durable. Il considère l'hydrogène comme le complément le plus probable aux carburants fossiles. « Une voiture électrique à batterie n'a pas besoin de station-service pour être rechargée pendant 20 minutes ou plus, cela peut se faire à domicile ou à une borne de centre commercial. » En revanche, les stations-service se prédestinent à la vente de H₂.

Selon Martin Osterwalder, les stations-service pourraient également contribuer à la conversion de la production d'électricité aux énergies renouvelables, grâce à la technologie H₂. Le courant « excédentaire » provenant des sources renouvelables pourrait être utilisé pour produire de l'hydrogène, mais aussi des carburants de synthèse (synfuels).

« L'hydrogène et les carburants de synthèse résolvent en partie le problème du stockage de l'électricité », Martin Osterwalder n'en doute pas. Et il est convaincu aussi que le fait d'investir dans une station-service de H₂ représente une diversification importante pour son entreprise.

« Plus qu'un simple label vert »

En collaboration avec l'association Mobilité H₂ et H₂ Energy, Hyundai Motor Company pose les jalons d'une flotte durable de poids lourds à pile à combustible en Suisse, avec un modèle d'affaires épatant.

L'adresse du siège de Hyundai Hydrogen Mobility AG passe presque inaperçue dans le Glattpark d'Opfikon, entre les garderies, une pizzeria et de nombreux immeubles de bureaux. Cette société est issue d'un partenariat entre Hyundai Motor Company et l'entreprise suisse H₂ Energy, dont le siège social est situé tout près, dans la même rue. Ce qui s'y élabore pourrait changer considérablement le secteur de la logistique. Selon Mark Freymüller, son directeur, l'objectif est de faire évoluer le secteur européen des poids lourds dans le sens d'un respect durable de l'environnement, en proposant des véhicules utilitaires zéro émission.

« Une opportunité formidable s'est présentée pour Hyundai », explique Mark Freymüller. « Le groupe souhaitait étendre son secteur poids lourds au marché européen avec une technologie prometteuse, que les autres constructeurs négligent parfois. » Il fait référence à la pile à combustible, ce générateur qui transforme l'hydrogène en courant électrique afin de propulser le véhicule.

L'objectif est de faire évoluer le secteur européen des poids lourds dans le sens d'un respect durable de l'environnement.



Camion à pile à combustible

Pour Mark Freymüller, les avantages sont évidents : « Avec les camions à pile à combustible en particulier, il faut toujours garder quatre facteurs à l'esprit : les coûts, l'autonomie, la charge utile et le temps de ravitaillement. » Le directeur général de Hyundai Hydrogen Mobility AG note que les camions à

pile à combustible présentent des avantages considérables par rapport aux véhicules à batterie, notamment en termes de distance franchissable : « L'augmentation d'autonomie d'un poids lourd électrique à batteries se fait au détriment de la charge utile, alors que c'est beaucoup moins le cas avec l'hydrogène. » Mark Freymüller admet que les véhicules à batterie sont pertinents pour certaines applications. Mais pas explicitement pour le trafic lourd de marchandises.

Le fait que le constructeur coréen entame maintenant son offensive poids lourds dans notre pays est aussi une décision entrepreneuriale : « Hyundai a des plans d'expansion pour ses camions à pile à combustible et la Suisse offre des conditions optimales. Pour nous, cet accord de partenariat est la plaque tournante européenne dans ce domaine », explique Mark Freymüller, qui est fermement convaincu que cela va réussir : « Notre entreprise a une grande expérience de la technologie des piles à combustible. Cela s'applique d'une part aux voitures, et d'autre part aux véhicules utilitaires, en particulier les autobus et maintenant aussi les poids lourds. »

Les poids lourds Hyundai destinés au marché suisse seront commercialisés sous le label de « Xcient Fuel Cell », en déclinaison 4x2 d'un poids total de 34 tonnes avec remorque. Les camions sont équipés d'un coffre sec ou réfrigéré, et tirent l'énergie nécessaire à la propulsion de deux piles à combustible de 95 kW, qui convertissent l'hydrogène et l'oxygène de l'air ambiant en courant électrique. Les piles à combustible n'émettent pas de CO₂, que de la vapeur d'eau. Le système est complété par une batterie de 73,2 kW. Selon Mark Freymüller, les 34,5 kilos d'hydrogène embarqués procurent

Le principe du « paiement au kilomètre » permet aux clients de franchir plus facilement le pas de l'hydrogène.

une autonomie d'environ 400 km, selon le type d'utilisation. Le temps de ravitaillement est également comparable à celui des poids lourds classiques.

Le modèle d'affaires de l'entreprise fonctionne selon une approche simple, mais ciblée. Les camions ne sont pas vendus, mais mis à disposition selon un modèle de paiement selon utilisation. Le client « loue » le parc de véhicules et paie par kilomètres parcourus. Hyundai s'occupe de l'essentiel. Cela ne concerne pas seulement les services et l'amortisse-



Hyundai Motor Company et H₂ Energy signent leur accord de Joint Venture.

ment, mais aussi la garantie d'approvisionnement en hydrogène neutre en CO₂ (produit à partir d'électricité renouvelable, par exemple hydraulique ou solaire). Le forfait kilométrique englobe l'exploitation complète du camion, y compris le ravitaillement en hydrogène. Les réparations ou le remplacement éventuel de la pile à combustible sont également couverts par l'indemnité kilométrique forfaitaire, dans le cadre d'un contrat pluriannuel.

Ce modèle d'affaires résout des problèmes majeurs pour les clients : « D'abord, Hyundai n'est pas encore bien connu dans ce pays en tant que fabricant de camions, ce qui pourrait dissuader certains clients d'intégrer nos véhicules dans leur flotte », explique Mark Freymüller. Le principe du « paiement au kilomètre » leur permet de franchir plus facilement le pas de l'hydrogène. « Et enfin, l'infrastructure n'est pas encore aussi développée que ce à quoi la technologie diesel classique nous avait habitués, mais le client n'a pas à s'en inquiéter non plus. » Le modèle de paiement en fonction de l'utilisation élimine tous ces problèmes. L'objectif est de rendre le prix du kilomètre compétitif par rapport au diesel fossile, ce qui est le cas actuellement.

« Mais même si les prix étaient légèrement plus élevés, le passage aux camions à pile à combustible resterait avantageux pour les clients », estime Mark Freymüller. « Ils peuvent ainsi rendre leur propre chaîne logistique neutre en CO₂ et se démarquer positivement de la concurrence. » Et comme cette technologie est vraiment exempte d'émissions, elle est plus qu'un simple « label vert ».

Aussi discrète que puisse paraître l'adresse de la société Hyundai Hydrogen Mobility AG dans le Glattpark d'Opfikon, on y crée des solutions passionnantes pour l'avenir de l'industrie des transports. Des solutions qui pourraient bien changer un jour le marché de la logistique dans toute l'Europe.



« Si la branche prend le relais, il faudra moins de politique »

Interview de Christian Bach, du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa)



« La mobilité au long cours présente plus de difficultés que les transports locaux. Pour une raison évidente, qui est que le diesel fossile y offre d'énormes avantages. »

Christian Bach

Chef du laboratoire Automotive Powertrain Technologies de l'Empa

Monsieur Bach, sur quoi se concentrent vos recherches en ce moment ?

Christian Bach : Les énergies renouvelables sont un thème crucial pour l'Empa, et en particulier celles touchant aux bâtiments et à la mobilité. Des démonstrateurs rendent la recherche en laboratoire plus visible pour les parties prenantes et le public, et la traduisent en applications réelles.

Comment abordez-vous cette question dans le domaine de la mobilité ?

Grâce à « move », le démonstrateur de mobilité du futur, nous coopérons avec des partenaires de la recherche, de l'économie et des pouvoirs publics pour montrer comment le transport routier du futur pourrait fonctionner sans énergie fossile. Le fait qu'Avenergy Suisse soit de la partie montre qu'il est également important pour la branche de se familiariser avec ces technologies.

Quel est votre objectif ?

Il est d'abord d'« éliminer » les émissions de CO₂ du trafic routier. Et de le

faire sans tirer les énergies renouvelables du seul système énergétique, car cela pourrait entraîner simplement un déplacement des émissions de CO₂. En outre, la mobilité devrait générer un avantage systémique pour le système énergétique. Nous étudions les domaines où c'est plus facile et ceux où c'est plus difficile à réaliser.

Qu'en concluez-vous ?

La mobilité au long cours présente plus de difficultés que les transports locaux. Pour une raison évidente, qui est que le diesel fossile y offre d'énormes avantages. Ce vecteur énergétique convient à toutes sortes d'applications, des voitures aux poids lourds, en passant par les utilitaires légers, sans oublier les engins de chantier, tracteurs, moissonneuses-batteuses et navires, jusqu'aux avions. Le diesel est bon marché, stockable et donc disponible 24 heures sur 24. En outre, il se transporte facilement sur de longues distances. Etant donné que la mobilité au long cours est plus significative que la moyenne en termes d'émissions de CO₂, nous avons intensifié nos recherches sur ces modes de propulsion.

Quelles sont les alternatives les plus prometteuses ?

Pour les « pendulaires », les courtes distances ou les secondes voitures du ménage, le véhicule électrique à batterie est la bonne alternative. Les trajets courts représentent jusqu'à 70 % des déplacements. Et ils sont responsables de la majorité des émissions polluantes, car les moteurs et les pots catalytiques n'ont souvent pas le temps d'atteindre leur température de fonctionnement. Les 30 % restants concernent les trajets plus longs. Mais ceux-ci représentent environ 70 % des kilométrages parcourus, donc également 70 % des émissions de CO₂. Dans ce domaine, nous voyons les véhicules à hydrogène et ceux alimentés par des carburants de synthèse produits à partir d'électricité renouvelable.

Selon vous, qu'est-ce qui est le plus prometteur ? L'hydrogène, les carburants de synthèse ou les batteries prônées surtout par la classe politique ?

Chaque concept a ses avantages et inconvénients. Aucun ne peut répondre à toutes les demandes, en dépit de certaines affirmations. L'astuce consiste à trouver le bon système pour chaque application. Comme je l'ai déjà dit, les véhicules 100 % électriques sont avantageux pour les trajets courts et moyens. Pour les longues distances, ils ont besoin de grosses batteries avec l'empreinte que cela implique, ainsi

Christian Bach

Chef du laboratoire Automotive Powertrain Technologies de l'Empa

Christian Bach travaille depuis 30 ans à l'Empa, à Dübendorf, dans le canton de Zurich. Il y dirige le laboratoire Automotive Powertrain Technologies depuis 20 ans, après avoir été chef de groupe des véhicules à moteur légers. L'Empa est le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche, qui dépend de l'EPF de Zurich.

Pour les « pendulaires », les courtes distances ou les secondes voitures du ménage, le véhicule électrique à batterie est la bonne alternative.

que de nombreux points de recharge rapide qui ralentissent l'abandon des centrales thermiques et nucléaire. Pour ces applications, les véhicules à hydrogène et les carburants synthèse sont préférables.

Quels sont les avantages et inconvénients de l'hydrogène par rapport aux carburants de synthèse ?

La filière H₂ a un meilleur rendement, mais aussi des coûts d'infrastructure plus élevés. Les carburants de synthèse doivent être produits dans de grandes usines pour être économiques, mais ils sont plus faciles à transporter. Il s'agit de choisir l'un ou l'autre, en fonction de la situation ! Je suis convaincu que nous aurons besoin de ces deux technologies si nous voulons passer aux énergies renouvelables.

Pourquoi ?

Parce que nous aurons un problème de surplus d'électricité provenant de sources renouvelables pendant le semestre estival. En Allemagne, on arrête déjà des éoliennes faute de pouvoir injecter de l'électricité dans le réseau. Ces temps d'arrêt – de l'électricité non

énergies renouvelables. La Chine emprunte une voie différente.

Comment font les Chinois ?

Ils ne compensent pas les arrêts de production. Par exemple, quand les heures de pleine charge du photovoltaïque diminuent, le rendement de ces installations est plus faible. Nous pensons qu'une approche différente est nécessaire, à savoir qu'il faut utiliser l'électricité excédentaire pour produire de l'hydrogène ou des carburants de synthèse. Localement, on pourrait produire surtout de l'hydrogène. Mais comme la Suisse connaît une pénurie d'électricité renouvelable pendant les mois d'hiver, nous avons également besoin d'une énergie renouvelable qui puisse venir de loin. Dans un avenir prévisible, il ne peut s'agir que de vecteurs énergétiques de synthèse, comme ceux produits par exemple dans la « ceinture solaire » ou les parcs éoliens offshore.

Pour les longs trajets, nous voyons les véhicules à hydrogène et ceux alimentés par des carburants de synthèse produits à partir d'électricité renouvelable.

produite – sont néanmoins compensés. En 2018, les compensations se sont élevées à plus de 600 millions d'euros, avec une tendance à la hausse. Le nœud du problème est que sans cette compensation due à la part croissante des excédents d'électricité, il n'est pas possible de passer rapidement aux

La concrétisation de vos idées est-elle réaliste dans l'environnement actuel ?

Si nous voulons réduire les émissions de CO₂ provenant des applications à longue distance, mais aussi celles de la mobilité à l'électricité et à l'hydrogène pendant les mois d'hiver, toutes ces

technologies deviennent incontournables.

Il semble y avoir des solutions techniques, mais sont-elles quantifiables ?

Oui, mais au niveau de l'application, pas du vecteur énergétique. Nos calculs montrent qu'il existe des solutions pour une mobilité routière neutre en CO₂ qui ne sont guère plus coûteuses que les approches actuelles basées sur les carburants fossiles. Mais il faut pour cela disposer des bons concepts dans le bon domaine d'application, ainsi que d'hydrogène et de vecteurs énergétiques de synthèse provenant de grandes usines. Le défi réside dans le financement de la phase de construction, très coûteuse.

Quelles sont vos propositions pour le financement de cette phase transitoire ?

Une « taxe sur le CO₂ 2.0 » est nécessaire. A notre avis, elle devrait servir à financer les coûts de transformation. Cela n'implique pas forcément une intervention des pouvoirs publics. Au lieu d'une taxe sur le CO₂ étatique, on pourrait imaginer un prélèvement interne à la branche pour remplacer tous les carburants fossiles par des énergies renouvelables d'ici à 2050.

Qu'avez-vous en tête exactement ?

La question de savoir si l'augmentation du prix des carburants fossiles entraînera une réduction du CO₂ est controversée. A l'extrême, elle pourrait aussi pousser les émissions à la hausse, car les gens ont l'impression que la taxe sur le CO₂ leur fait payer les effets négatifs. Nous considérons au contraire que la mesure centrale doit être une trajectoire de réduction des carburants fossiles, combinée à une taxe sur ces



Depuis 2015, l'Empa exploite une station-service d'hydrogène à Dübendorf.

mêmes carburants fossiles, ceci afin d'augmenter la part des énergies renouvelables dans le secteur pétrolier et gazier jusqu'à atteindre 100% d'ici à 2050. Cela entraînerait certes une certaine augmentation du prix des carburants, mais – principal avantage – surtout une réduction inévitable du CO₂.

L'industrie elle-même devrait rendre les combustibles fossiles plus chers et utiliser les fonds supplémentaires pour promouvoir les carburants synthétiques et l'hydrogène ?

Exactement. Si elle ne le fait pas, c'est le législateur qui le fera. Si les objectifs en matière de CO₂ ne sont pas atteints, il serrera encore plus la vis, ce qui pourrait avoir un impact négatif sur l'acceptation de ces mesures. Si, en revanche, l'industrie elle-même s'engageait à poursuivre la voie de la transformation décrite ci-dessus, qui pourrait avoir la moindre objection ? Je pense que les milieux politiques seraient favorables à une approche interne à la branche.

A quel horizon voyez-vous cette évolution ?

Si nous voulons atteindre la neutralité CO₂ à l'horizon 2050, il reste 30 ans. Il faudrait mettre en place ce changement pendant la première décennie et assurer l'accès à des installations industrielles de grande envergure, de l'ordre de plusieurs centaines de mégawatts. Pour cela, l'industrie devrait se regrou-

per. Les quantités produites devraient être massivement augmentées pendant la deuxième décennie et, au cours de la troisième, divers concepts pourraient alors être développés sur une base concurrentielle. Je suis conscient du fait que de nombreux acteurs du secteur ne voient pas encore ce changement en termes concrets. Mais il n'y a guère d'autres options pour atteindre l'objectif CO₂ visé.

Est-il raisonnable que l'Europe ou même la Suisse fasse cavalier seul dans cette transformation, pendant que le reste du monde dépendrait toujours des combustibles fossiles ?

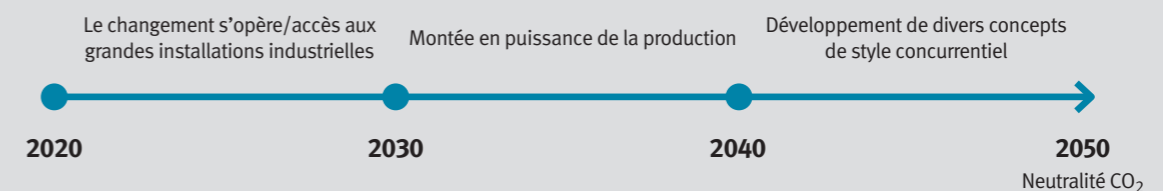
Vous avez raison. Même si la Suisse n'émettait plus un seul gramme de CO₂, cela n'aurait aucun effet sur le changement climatique. Sa contribution est trop faible pour cela. Mais si la Suisse, grâce à sa puissance financière et son savoir-faire technologique, montrait la voie du changement, de nombreux autres pays ayant moins de moyens économiques pourraient lui emboîter le pas. En effet, les coûts baisseraient fortement après la phase

de mise en place. Si, par exemple, l'Afrique, avec son énorme potentiel solaire, pouvait satisfaire sa soif croissante d'énergie grâce à des vecteurs renouvelables et non fossiles, selon l'approche décrite, cela aurait des conséquences très positives sur le changement climatique.

Pourquoi la Suisse devrait-elle s'impliquer ?

Parce qu'elle dispose d'un grand potentiel de développement des technologies nécessaires. Dans le cadre du projet « move-MEGA » de l'Empa, nous traitons précisément de ces questions. Des projets similaires sont en cours dans les EPF, au PSI et dans d'autres hautes écoles. Je suis convaincu que la Suisse bénéficierait d'une telle démarche sous la forme d'une réduction des émissions de CO₂, mais aussi sur le plan économique, car ces technologies seront à l'avenir très demandées dans le monde entier.

Trois décennies jusqu'à la neutralité CO₂



18 Les stations-service d'hydrogène sont très différentes des stations-service classiques

Il y a plusieurs défis à relever lors de la construction et de l'exploitation d'une station de ravitaillement en hydrogène, explique Roger Hausammann, le directeur technique de Coop Mineraloel AG. Outre les aspects techniques, il faut prendre en compte l'espace à disposition.

M. Hausammann, de quoi se compose une station-service H₂ ?

Roger Hausammann : Elle diffère d'une station-service classique sur un certain nombre de points essentiels. Par exemple, l'hydrogène ne peut pas être simplement pompé de la citerne à la colonne, comme un carburant liquide. Le H₂ est un gaz comprimé, il ne se déplace donc que sous l'effet de différences de pression.

Qu'est-ce que cela signifie concrètement ?

En plus d'un réservoir de stockage et d'une colonne de ravitaillement, nous avons besoin d'un compresseur et d'un stockage haute pression. L'hydro-

gène est comprimé et stocké aux niveaux de pression adéquats.

Comment est-il stocké ?

Il y a plusieurs possibilités. Le stockage peut être fixe, à l'air libre ou enterré, mais il est également possible d'avoir recours au stockage mobile utilisé pour livrer le gaz. Au lieu de production, l'hydrogène est stocké dans le conteneur mobile à une pression de 350 bars. Cela permet de disposer d'environ 365 kilos d'hydrogène par livraison. Le conteneur vide est échangé contre un plein. Il faut s'attendre à ce que l'utilisation de conteneurs mobiles se généralise en Suisse, car ils offrent plusieurs avan-

tages pour l'exploitation d'une station de ravitaillement en H₂.

Quels avantages ?

Il n'y a pas de perte de pression due au débordement comme dans un réservoir de stockage stationnaire, donc pas de perte d'énergie. En outre, le temps de livraison est considérablement réduit, puisqu'il se limite à un échange de conteneurs. Afin que la plus grande quantité possible d'hydrogène puisse être transférée depuis le réservoir de livraison, les stockages stationnaires ne peuvent fonctionner qu'à une pression maximale d'environ 50 bars.

Pour sécuriser les ravitaillements en H₂, il est important qu'il existe une autre station-service H₂ à proximité.

Où voyez-vous les plus grands défis dans la construction et l'exploitation de stations-service H₂ ?

Un défi majeur est le fait qu'à ce jour, seul le ravitaillement en hydrogène des voitures est défini par un protocole, appelé SAE J2601. L'opération est contrôlée activement par une unité de communication. Un protocole pour le ravitaillement des camions est encore en cours d'élaboration.

Quelles sont les exigences en matière d'espace ?

L'utilisation de réservoirs de stockage mobiles exige davantage d'espace. Pour assurer un échange sans frictions, il faut disposer de deux emplacements pour les réservoirs mobiles, dont l'un n'est pas occupé. L'accès aux réservoirs mobiles doit aussi être garanti à tout moment. L'espace requis pour le compresseur et l'unité frigorifique

associée varie selon le fournisseur. L'ensemble du dispositif nécessite une surface au sol d'environ 120 à 150 m². Cela n'inclut pas l'espace nécessaire pour manœuvrer dans la zone des réservoirs interchangeables, ni celui occupé par la pompe H₂ et la place de ravitaillement.

Quelle est la garantie de disponibilité du H₂ ?

L'opération d'une station de ravitaillement en H₂ dépend entièrement de l'état de fonctionnement des différents éléments ; en particulier le compresseur et, s'agissant des voitures, également l'unité frigorifique. En cas de défaillance d'un élément, aucun ravitaillement n'est possible. Les stations-service classiques sont moins susceptibles de tomber en panne, puisque la défaillance d'une colonne peut généralement être compensée par d'autres.

Comment résoudre cette difficulté ?

Pour sécuriser les ravitaillements en H₂, il est important qu'il existe une autre station-service H₂ à proximité. L'utilisation de véhicules H₂ dans le domaine logistique et pour d'autres activités commerciales, en particulier, requiert une disponibilité maximale. Les membres de l'association H₂ Mobilité Suisse sont en contact permanent afin que les stations-service soient aussi bien placées que possible. Dans la première phase de l'expansion du réseau de stations-service H₂ en particulier, un accord entre les exploitants est essentiel pour que la mobilité H₂ dispose de la meilleure base possible.

Les stations-service H₂ sont-elles en nombre suffisant ?

Actuellement, ce marché est couvert par trois fournisseurs qui ne peuvent répondre à la demande croissante de stations de ravitaillement en H₂ que dans une mesure limitée. Mais l'évolution est en bonne voie. Les lignes de production seront étendues dans un avenir proche, ce qui augmentera massivement la disponibilité. On peut également supposer qu'une nouvelle augmentation de la demande encouragera d'autres fournisseurs de systèmes à adopter la technologie H₂ et que, de ce fait, ce marché évoluera positivement.



« Une station-service d'hydrogène diffère d'une station-service classique sur un certain nombre de points essentiels. »

Roger Hausammann
Directeur technique de Coop Mineraloel AG

20 Fonctionnement d'une station-service d'hydrogène

Compresseur

Une pression d'entrée la plus élevée possible est déterminante pour assurer le fonctionnement économique et efficace du compresseur. En termes simples, plus la pression d'entrée est élevée, plus le compresseur est performant. Dans les stations-service H₂ actuelles, par exemple, la capacité du compresseur peut tomber à 20-25% de son maximum.

Exemple: capacité du compresseur d'environ 82 kg/h à une pression d'entrée de 350 bars, contre env. 22 kg/h à 25 bars, capacité moyenne d'environ 52 kg/h. Dans le cas d'un réservoir de stockage fixe, il faut s'attendre à une pression d'entrée maximale d'environ 50 bars, ce qui implique une réduction de la capacité moyenne à environ un quart de la capacité du compresseur mentionnée ci-dessus. Le nombre maximum de véhicules pouvant être ravitaillés dépend de la capacité moyenne du compresseur.

Accumulateur haute pression

L'hydrogène comprimé est stocké en deux étages de pression, dans des réservoirs locaux: 500 bars pour le ravitaillement des camions et 1000 bars pour celui des voitures.

Colonne/ravitaillement

Le ravitaillement des véhicules est basé sur le principe de la pression différentielle. En raison de la différence de pression entre les réservoirs de stockage haute pression et le réservoir du véhicule, le ravitaillement en H₂ s'effectue sans dépense d'énergie supplémentaire. Il ne commence qu'après vérification de l'étanchéité du raccord entre le pistolet et le réservoir du véhicule. Après le ravitaillement, la pression présente dans le système doit être évacuée par une soupape. Sans cette détente, la liaison entre la colonne et le véhicule ne peut pas être interrompue.

On a recours à des pistolets différents pour les voitures et les camions, correspondant aux niveaux de pression. Un ravitaillement représente en moyenne 4 kg de H₂ à une pression maximale de 700 bars pour une voiture, et environ 25 kg de H₂ à une pression maximale de 350 bars pour les camions.

Capacité

En tenant compte de la durée du ravitaillement, de la quantité de H₂ stockée localement et de la capacité du compresseur, il est possible de ravitailler au maximum environ quatre camions et huit voitures pendant les heures de pointe, dans les stations-service H₂ actuellement en projet en Suisse. En service continu et au moment de l'échange des stockages mo-

biles, le nombre maximum de ravitaillements dépend du mix de véhicules et de la capacité moyenne du compresseur. La capacité peut être augmentée au moyen de compresseurs supplémentaires.

Le défi de la température

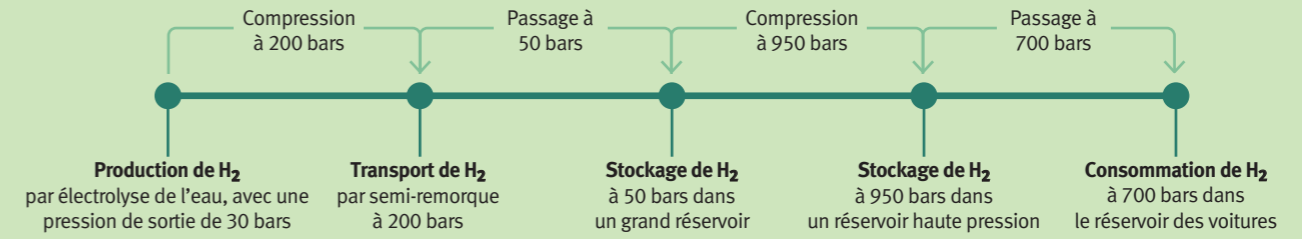
Le ravitaillement en hydrogène de voitures et de poids lourds est identique dans son principe. Cependant, les différences de pression ne permettent pas de procéder de la même manière, car la compression du gaz génère de la cha-

Une station-service H₂ permet de ravitailler environ quatre camions et huit voitures pendant une heure de pointe.

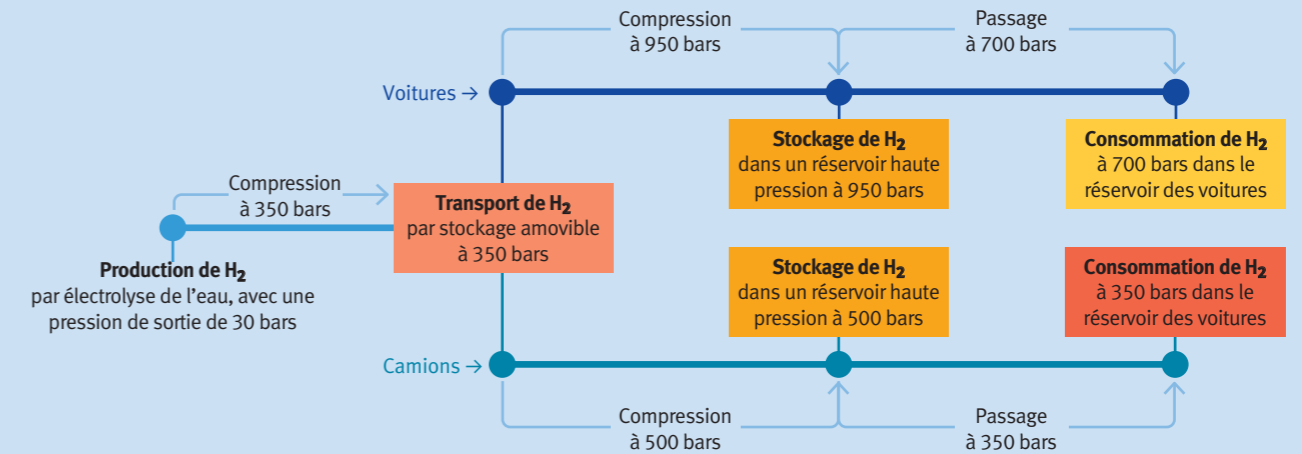
leur. Cela dépend notamment des conditions techniques (par exemple, la température maximale des matériaux composant le réservoir du véhicule et la pression maximale autorisée dans ledit réservoir, etc.). C'est pourquoi les voitures ne peuvent être ravitaillées qu'avec de l'hydrogène refroidi, alors que l'opération est possible sans refroidissement pour les camions. L'échauffement dépend de plusieurs facteurs, en particulier la température du gaz H₂ et la vitesse de compression. La vitesse du processus de ravitaillement dépend donc directement de l'échauffement maximal autorisé. Les mesures effectuées lors d'un test de ravitaillement de camion ont montré que le réservoir du véhicule s'est réchauffé de plus de 40°C.

La température ambiante est un autre facteur limitant, car elle peut entraîner un échauffement du réservoir du véhicule. Or la pression maximale autorisée dans le réservoir ne doit jamais être dépassée. Lorsqu'on ravitaille un camion par une température ambiante inférieure à 10°C, il faut réduire la quantité maximale en conséquence.

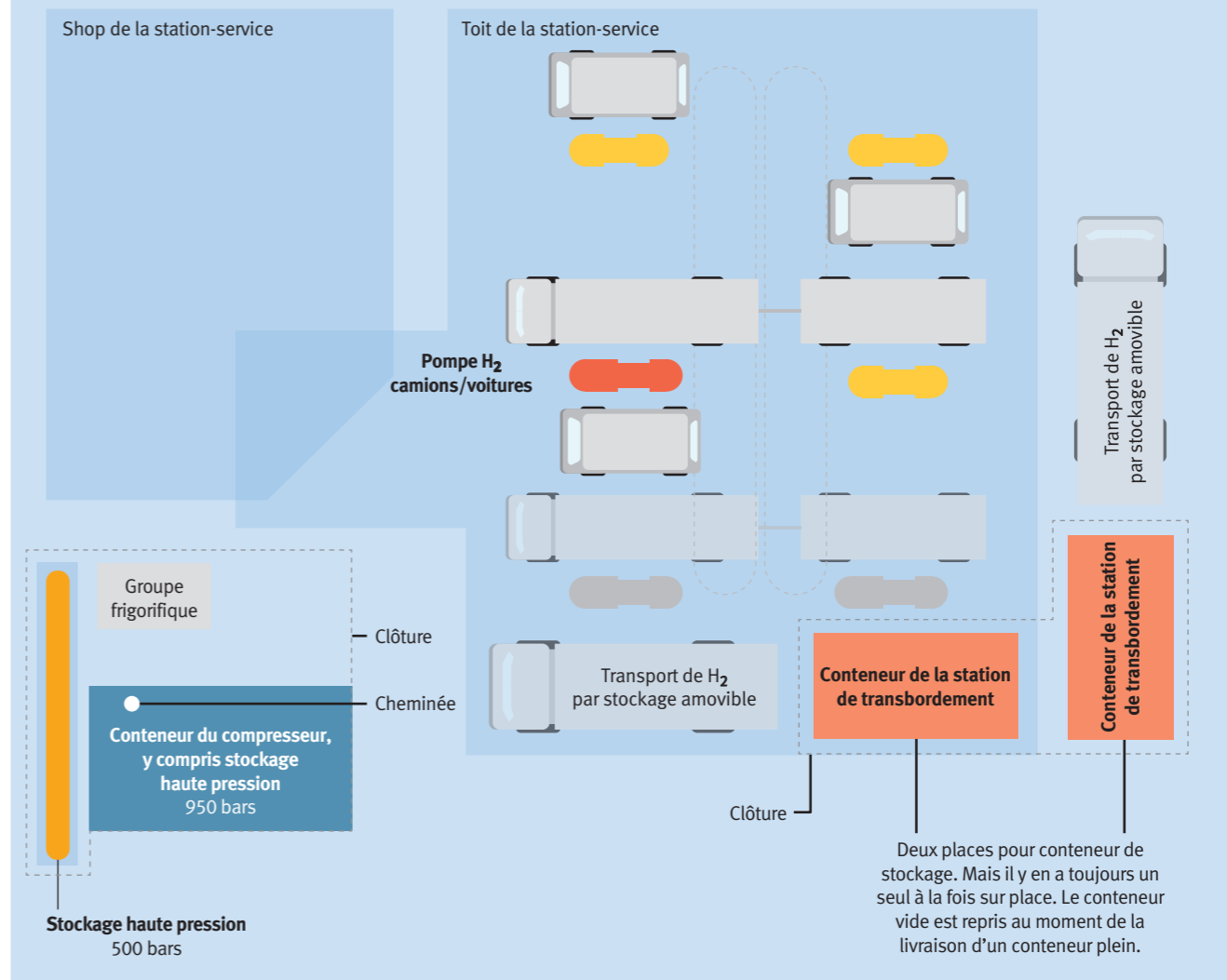
Station-service H₂ à réservoir stationnaire (à l'exemple des véhicules particuliers)



Station-service H₂ à stockage amovible



Plan possible d'une station-service H₂ à stockage amovible



La centrale au fil de l'eau d'Alpiq



La production industrielle d'hydrogène vert commence à Gösgen

L'humanité utilise l'énergie hydraulique depuis des milliers d'années. Et elle le fait pour produire de l'électricité depuis environ 150 ans. A Gösgen, on élabore de l'hydrogène sans CO₂ à grande échelle depuis cette année, à l'intention des futurs véhicules à pile à combustible.

A l'ombre de l'imposante tour de refroidissement de la centrale nucléaire de Gösgen, la centrale hydroélectrique d'Alpiq ne produit pas seulement de l'électricité, mais aussi, depuis février 2020, de l'hydrogène sans CO₂, par électrolyse.

«L'un des générateurs de la centrale hydroélectrique est relié directement à notre électrolyseur», explique Thomas Fürst, le directeur d'Alpiq Hydro Aare AG et d'Hydrospider, les sociétés qui exploitent respectivement la centrale hydroélectrique et l'installation de production d'hydrogène. Alpiq et H₂ Energy détiennent chacun 45 % des parts d'Hydrospider, et le groupe Linde 10 %. «L'énergie hydroélectrique est convertie en électricité, l'électricité en hydrogène et, plus tard, l'hydrogène du véhicule à pile à combustible est retransformée en électricité et en eau», résume Thomas Fürst en une seule phrase.

L'usine de production d'hydrogène se compose pour l'essentiel d'un transformateur et de trois conteneurs. Tout d'abord, le courant alternatif à haute tension du générateur est transformé de 10 000 à 400 volts. Puis il est converti en courant continu, dans un premier conteneur. Il y a ensuite l'installation d'électrolyse, où l'eau est séparée à l'aide du courant électrique. Dans divers *stacks*, les molécules d'hydrogène sont séparées de celles d'oxygène et collectées. Alors que l'oxygène est rejeté à l'air libre, l'hydrogène est transporté dans le troisième conteneur, où se trouvent les compresseurs. De là, le gaz est envoyé dans le réservoir pressurisé à 350 bars via un tuyau ne mesurant que quelques centimètres de diamètre. Les conteneurs sont ensuite transportés par la route jusqu'à la station-service, où ils sont disponibles pour le ravitaillement des voitures (à 700 bars) et des poids lourds (à 350 bars).

«La centrale hydroélectrique est conçue pour une puissance de 50 mégawatts, mais nous n'avons besoin que de 2 MW pour la production de H₂», explique le directeur d'Hydrospider. Même en cas de faible niveau de l'Aar, il y aura donc suffisamment de réserves pour générer le courant nécessaire au fonctionnement de l'électrolyseur, et même à la production d'électricité.

«L'hydrogène vert est l'une des clés de la transformation pertinente et efficace des carburants fossiles en une électromobilité exempte d'émissions», estime Thomas Fürst. «Avec l'hydrogène vert, Hydrospider favorise la décarbonation des transports de marchandises.» C'est également dans ce domaine que le directeur de la société voit le plus grand potentiel d'applications quotidiennes : «Avec 30 kilos d'hydrogène, un camion électrique à pile à combustible parcourt environ 400 kilomètres. Il faudrait des stockages d'énergie plus lourds pour parcourir la même distance avec des batteries.» Un poids supplémentaire qui pénaliserait la charge utile. «La densité énergétique de l'hydrogène est tout simplement très supérieure», explique Thomas Fürst. C'est la raison pour laquelle il voit l'avenir de la pile à combustible principale-

ment dans le trafic poids lourds, et pour les longues distances en ce qui concerne les voitures. Pour les trajets courts, la voiture électrique à batterie est une alternative valable. «En aviation, les synfuels, autrement dit les carburants de synthèse, seront sans doute plus intéressants à l'avenir», affirme Thomas Fürst.

Le premier projet d'Hydrospider, l'usine d'électrolyse de 2 MW de la centrale hydroélectrique d'Alpiq à Gösgen, peut produire jusqu'à 300 tonnes d'hydrogène par an, assurant ainsi l'approvisionnement de 40 à 50 camions ou 1700 voitures. Pour Thomas Fürst, ce n'est qu'un début : «Notre objectif est de faire progresser cette technologie étape par étape.» L'entreprise prétend pouvoir couvrir la demande d'hydrogène vert en Suisse à grande échelle. En le produisant elle-même ou en s'approvisionnant auprès de tiers : la question reste ouverte. Il est important que le prix de l'hydrogène, en tant que carburant, soit aussi attractif pour le client en bout de chaîne. C'est déjà le cas, tout au moins dans le transport de marchandises. «Rapporté à la distance parcourue, l'hydrogène est déjà aussi avantageux pour les clients que la technologie diesel classique», explique Thomas Fürst.

L'hydrogène vert jouera un rôle important.

Le directeur d'Hydrospider est convaincu que l'hydrogène s'imposera. C'est notamment dû au fait que de nombreux exploitants de stations-service, donc des membres d'Avenergy Suisse, mais aussi des acteurs importants de l'industrie automobile, ont reconnu le potentiel de cette technologie. Grâce à l'interaction du camion Hyundai, des stations-service, des logisticiens de l'association Mobilité H₂ Suisse et du producteur Hydrospider, nous ne sommes plus dans le dilemme de la poule et de l'œuf. Selon Thomas Fürst, l'hydrogène vert jouera un rôle important dans la mobilité de demain. Et le produit sera également de plus en plus demandé dans l'industrie, le directeur général d'Hydrospider en est convaincu : «Les utilisateurs d'hydrogène dans la production prendront de plus en plus conscience du fait qu'il s'agit de H₂ vert.»

Qui sait, peut-être qu'un jour de l'an 2170, à l'occasion d'une promenade le long de l'Aar à Gösgen, on se souviendra du jour présent en contemplant la centrale au fil de l'eau : «L'humanité exploite l'énergie hydraulique depuis des millénaires et, depuis environ 150 ans, l'électricité produite est utilisée pour produire un hydrogène vert, si important pour l'économie et les transports.»

L'hydrogène prend un timide essor dans toute l'Europe

Ce n'est pas encore la grande révolution, mais des initiatives de promotion de l'hydrogène se font timidement jour dans toute l'Europe. L'année dernière, le réseau européen de stations de ravitaillement en hydrogène accessibles au public est passé de 36 à 177 unités. L'Allemagne s'est taillé la part du lion avec 22 nouvelles stations. Ailleurs dans le monde, 47 stations H₂ supplémentaires ont été ouvertes : 38 en Asie, 8 en Amérique du Nord et une dans les pays arabes.

Fin 2019, le nombre total de stations de ravitaillement en hydrogène accessibles au public dans le monde était de 432, dont 320 destinées à l'approvisionnement de véhicules particuliers. Au cours des cinq dernières années, le nombre de stations a quadruplé. Et 226 autres sont prévues à des endroits désignés.

L'Allemagne montre la voie

Les chiffres proviennent de H₂Stations.org, un service de Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, une société allemande de conseil en énergie et mobilité durables. Sur les 177 stations recensées en Europe, l'Allemagne en compte 87. La France arrive en deuxième position avec 26 stations opérationnelles et 34 nouvelles prévues. Mais alors que dans le reste de l'Europe, l'accent est mis sur les véhicules individuels à hydrogène, en France, la plupart des stations sont destinées à des autobus.

Dans le reste du monde, l'Asie est en tête avec 178 stations d'hydrogène. Le Japon se taille la part du lion avec 114 d'entre elles, suivi par la Corée du Sud (33). Rien de surprenant, puisque ce sont les pays d'origine de Toyota, Honda et Hyundai, qui construisent des véhicules à hydrogène. En Chine, les 27 stations d'hydrogène – à notre connaissance – ravitaillent surtout des autobus et des camions.

Le fait que la plupart des voitures à hydrogène soient japonaises est la principale raison pour laquelle le pays de Donald Trump ne compte que 74 stations H₂, dont la plupart se trouvent en Californie (48). 8225 voitures à pile à combustible circulent aujourd'hui dans cet Etat américain, en loca-

tion ou en propriété, conformément au Californian Fuel Cell Partnership.

Des semi-remorques à hydrogène ne sont pas envisagés à ce stade, bien que le fabricant de camions électriques Nikola, basé en Arizona, entende lancer cette année son Nikola One, développé avec l'équipementier automobile allemand Bosch. Ce camion à pile à combustible devrait avoir une autonomie de 1200 à 2000 km.

Le nombre exact de véhicules à hydrogène circulant en Europe est difficile à établir, car les voitures, utilitaires légers ou camions à pile à combustible ne sont pas largement diffusés et apparaissent à peine dans les statistiques d'immatriculations de l'ACEA, l'Association des constructeurs européens d'automobiles.

L'Allemagne, leader européen des véhicules à hydrogène, comptait quelque 520 FCEV (véhicules électriques à pile à combustible) à la mi-2019, selon IHS Markit. Fin 2018, environ 1600 voitures à pile à combustible étaient censées circuler en Europe.

600 taxis à hydrogène pour Paris

En France, le projet HysetCo, qui vise à mettre en place une flotte de 600 taxis à hydrogène à Paris sous la marque Hype,

L'objectif est de mettre en place un secteur de taxis zéro émission pour les Jeux olympiques de 2024.



Un taxi à pile à combustible, en France.

est une initiative à saluer. D'ici à la fin de l'année, Hype ajoutera 500 taxis Toyota Mirai FCEV à sa flotte de 100 Hyundai à hydrogène. HysetCo est un accord de partenariat entre la société de taxis STEP (Hype), Toyota France, le spécialiste français de l'hydrogène Air Liquide et le fournisseur d'énergie Idex. L'objectif ultime est de mettre en place un secteur de taxis zéro émission pour les Jeux olympiques de 2024.

Autre avancée dans le domaine de l'hydrogène, le constructeur automobile français Renault a annoncé qu'il commençait à équiper ses fourgons électriques – Kangoo Z.E. et Master Z.E. – d'un prolongateur d'autonomie à pile à combustible.

L'équipementier automobile allemand Bosch, leader mondial, a scellé un accord avec la société suédoise PowerCell, qui dépend de Volvo, pour accélérer la production et le développement conjoint de piles à combustible destinées aux voitures et camions. Les deux entreprises veulent couvrir tout l'éventail, des voitures particulières aux poids lourds, en combinant deux piles ou davantage. Une nouvelle pile a été présentée en septembre. L'américain Nikola est le premier à la commander pour son camion H₂, d'entente avec un constructeur automobile « non dévoilé ».

En France de nouveau, les équipementiers automobiles Michelin et Faurecia ont conclu un accord de partenariat en mars dernier, regroupant toutes leurs activités dans le domaine de l'hydrogène. Michelin a été un pionnier, notamment en investissant dans Symbio. Cette start-up grenobloise fabrique une pile à combustible à adapter sur des véhicules électriques à batterie – comme les fourgons Renault – en vue d'augmenter leur autonomie d'environ 180 kilomètres.

Autobus et trains à hydrogène

L'hydrogène fait aussi son chemin dans le secteur des bus de transports publics. Des villes et des entreprises de toute l'Europe expérimentent des autobus à pile à combustible. Le constructeur belge Van Hool, le néerlandais VDL et le polonais Solaris (propriété de l'espagnol CAF) sont les principaux acteurs européens de cette technologie.

Dans le secteur des transports de poids moyen, les choses semblent bouger aussi. Notamment grâce à E-Trucks Europe, une entreprise belgo-néerlandaise spécialisée dans la transformation de camions neufs ou d'occasion en camions à pile à combustible. Quelques camions à ordures ménagères fonctionnant à l'hydrogène donnent déjà satisfaction dans ces deux pays.

L'entreprise de construction ferroviaire française Alstom, quant à elle, est pionnière dans le secteur de l'hydrogène. En



Le train à hydrogène, en Allemagne.

septembre 2018, le premier train commercial à hydrogène du monde a commencé sa tournée quotidienne en Basse-Saxe, en Allemagne, sur la ligne de 100 kilomètres reliant Cuxhaven et Buxtehude. Les trains à hydrogène sont susceptibles de remplacer à l'avenir les trains diesel sur toutes les lignes non électrifiées.

Le train de passagers à hydrogène Alstom Coradia iLint a les mêmes performances que son homologue diesel, à savoir une vitesse maximale de 140 km/h et des prestations compa-

L'entreprise de construction ferroviaire française Alstom est pionnière dans le secteur de l'hydrogène.

rables à l'accélération et au freinage. Il peut parcourir 800 km sans ravitaillement. Contrairement au train diesel, il n'émet que de la vapeur d'eau.

26 Un « panneau à hydrogène » filtrant l'air



Tom Bosserez

Prof. Johan Martens

Une « combinaison intelligente d'absorbants, de catalyseurs et de membranes ».

Une équipe de chercheurs belges de l'Université de Louvain a mis au point un panneau « solaire » qui filtre l'hydrogène et l'oxygène directement à partir de l'humidité de l'air, grâce à l'énergie du soleil. Ce panneau de 1,6 m² produit jusqu'à 250 litres d'hydrogène par jour, dans des conditions météorologiques typiques de la Belgique. Il a un rendement de 15 % dans la transformation de l'énergie solaire, ce qui équivaut presque à celle des panneaux solaires (18 à 20 %).

Un panneau solaire qui filtre l'hydrogène et l'oxygène directement à partir de l'humidité de l'air, grâce à l'énergie du soleil.

Le prototype de panneau à hydrogène a été réalisé par le Centre de chimie des surfaces et catalyse de l'université. Selon le professeur Johan Martens, qui dirige l'équipe, vingt de ces panneaux pourraient produire suffisamment d'hydrogène pour fournir à un ménage l'énergie nécessaire au chauffage et à l'électricité tout au long de l'année. Vingt autres leur permettraient en outre de rouler en voiture à hydrogène en autarcie.

Le professeur Martens ne souhaite pas divulguer la technologie exacte qui se cache derrière le panneau photo-hydrogénique, car plusieurs brevets sont en cours de dépôt. Il se contente de suggérer qu'il s'agit d'une « combinaison intelligente d'absorbants, de catalyseurs et de membranes ».

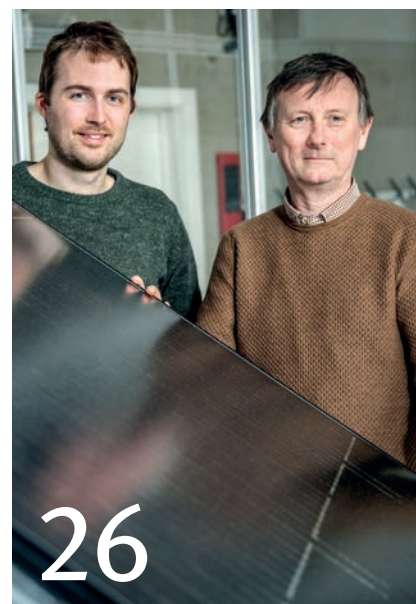
L'idée remonte à 2009, lorsque les chercheurs tentaient de trouver un moyen de produire de l'énergie partout dans le monde, avec des ressources disponibles localement. Le recours à la lumière du soleil et à l'humidité de l'air fait penser au Saint Graal, car même dans l'air du désert, il y a assez d'humidité pour cela.

Le coût du panneau à hydrogène doit rester dans les limites du raisonnable en cas de production en série, car aucun matériau précieux n'est utilisé. Le potentiel est immense. La production d'hydrogène pourrait être répartie localement, sans qu'il soit nécessaire de recourir à de grandes installations, à des pipelines ou au transport routier. On pourrait imaginer une station de remplissage d'hydrogène fournissant son propre « produit » directement à partir de l'air, en utilisant simplement la lumière du soleil.



Un Hyundai Nexo devant une colonne d'hydrogène, en Allemagne.

On pourrait imaginer une station-service d'hydrogène fournissant son propre « produit » directement à partir de l'air, en utilisant la lumière du soleil.



2 Editorial

Quand le moment est venu...

4 De l'eau à l'eau

Le circuit de l'hydrogène et autres graphiques d'information au sujet du carburant

8 « L'hydrogène : un complément aux carburants fossiles et une alternative aux batteries »

Interview de Fabian Bilger, directeur adjoint Avenergy Suisse

11 Investir pour mieux se diversifier

La station-service AVIA d'Osterwalder St. Gallen AG se dote de la colonne de ravitaillement en hydrogène la plus performante du monde

12 « Plus qu'un simple label vert »

Les jalons pour une flotte durable de camions à pile à combustible en Suisse sont posés

14 « Si la branche prend le relais, il faudra moins de politique »

Interview de Christian Bach, du Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa)

18 Les stations-service d'hydrogène sont très différentes des stations-service classiques

Interview de Roger Hausammann, directeur technique de Coop Mineraloel AG

20 Fonctionnement d'une station-service d'hydrogène

Défis posés par la construction et l'exploitation de stations-service d'hydrogène

22 La production industrielle d'hydrogène vert commence à Gösgen

A Gösgen, une centrale hydro-électrique produit dès cette année de l'hydrogène sans émettre de CO₂

24 L'hydrogène prend un timide essor dans toute l'Europe

Le nombre de stations-service d'hydrogène a été multiplié par quatre en cinq ans

26 Un « panneau à hydrogène » filtrant l'air

Un panneau solaire qui produit de l'hydrogène par filtrage de l'humidité de l'air

Impressum

Tirage DE 42000 / FR 12500 | **Rédaction** Avenergy Suisse | **Auteurs** Roland Bilang, Roger Hausammann, Daniel Schindler, Joris van Roy | **Conception** wapico sa | **Contact** Avenergy Suisse, Spitalgasse 5, 8001 Zurich | T 044 218 50 10, F 044 218 50 11 | info@avenergy.ch, www.avenergy.ch, twitter @avenergysuisse | Impression sur papier certifié FSC