

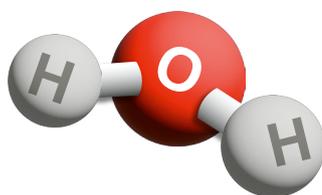
Le moteur à combustion interne à hydrogène permettra-t-il une percée ?

Il est indéniable que pour atteindre les objectifs climatiques ambitieux, les tracteurs, les machines de chantier et les camions doivent également réduire leurs émissions polluantes. Contrairement aux voitures particulières, la propulsion électrique des véhicules utilitaires lourds se heurte toutefois rapidement à des limites. L'hydrogène (H₂) s'impose de plus en plus comme une technologie de propulsion alternative.

Les hautes performances exigées dans le secteur agricole et sur les chantiers ne peuvent être fournies que par des batteries extrêmement grandes et lourdes. De plus, les tracteurs et les engins de chantier doivent souvent pouvoir être utilisés pendant des longues heures à pleine puissance, même dans des endroits dépourvus d'infrastructure de recharge. Depuis plusieurs années, les constructeurs expérimentent donc des véhicules qui tirent leur énergie motrice de piles à combustible à hydrogène. Dans la pile à combustible, l'inversion de l'électrolyse permet de produire du courant électrique à partir d'hydrogène, qui entraîne un moteur électrique. Un véhicule à pile à combustible à hydrogène est donc en fait un véhicule électrique

Piles à combustible - Une technologie complexe et coûteuse

Le hic, c'est que la technologie des piles à combustible à hydrogène est complexe et coûteuse et qu'il n'y a guère de points communs techniques avec les moteurs diesel ou essence conventionnels. C'est pourquoi JCB, mais aussi des fabricants comme Deutz ou VM Motori (Stellantis Group), travaillent intensivement à la mise au point de moteurs capables de brûler directement de l'hydrogène. Un tel moteur à combustion d'hydrogène ne se distingue d'un moteur diesel ou à essence conventionnel qu'au niveau du système d'admission, du contrôle de la combustion et du traitement des gaz d'échappement. Dans la chambre de combustion se produit la fameuse combustion des gaz, bien connue dans les cours de chimie, qui nécessite un mélange inflammable contenant au moins 18% d'hydrogène. Les seuls produits de décomposition sont la vapeur d'eau et les oxydes d'azote (NO_x). La consommation d'huile de lubrification provoque de faibles traces de dioxyde de car-



bone, de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures .

Le stockage et le transport de l'hydrogène sont exigeants

L'hydrogène est stocké à l'état gazeux ou liquide. Il est gazeux dans les conditions ambiantes et peut être stocké dans un réservoir d'hydrogène après avoir été comprimé à haute pression. Pour les véhicules, un niveau de pression de 350 bars pour les véhicules utilitaires et de 700 bars pour les voitures particulières s'est imposé. La liquéfaction de l'hydrogène constitue une alternative. L'hydrogène liquide (LH₂) possède une densité nettement plus élevée pour un volume nettement plus petit et convient donc pour le transport de grandes quantités sur de longues distances. L'hydrogène liquide doit toutefois être refroidi à -253 °C et stocké dans des réservoirs massivement isolés, faute de quoi il repasserait en phase gazeuse.

Comment produit-on de l'hydrogène ?

Le « vaporeformage » est actuellement le procédé industriel à grande

échelle le plus courant pour produire de l'hydrogène à partir de ressources carbonées telles que le gaz naturel et le biogaz. L'ajout de vapeur d'eau à une température comprise entre 450 et 500 °C et à une pression de 25 à 30 bars permet de décomposer les hydrocarbures à longue chaîne en méthane, hydrogène, monoxyde de carbone et dioxyde de carbone. Pour obtenir de l'hydrogène pur, on fait ensuite réagir le méthane avec de l'eau, à une pression constante et à une température comprise entre 800 et 900 °C. Les sous-produits que sont le monoxyde de carbone, le dioxyde de carbone et le méthane sont finalement filtrés. Environ 70 % de l'hydrogène produit dans le monde provient déjà du reformage à la vapeur, car ce procédé est peu coûteux. Comme alternative aux combustibles fossiles, il est également possible d'utiliser le biogaz pour le reformage à la vapeur. De cette manière, le bilan global de CO₂ du processus peut être amélioré.

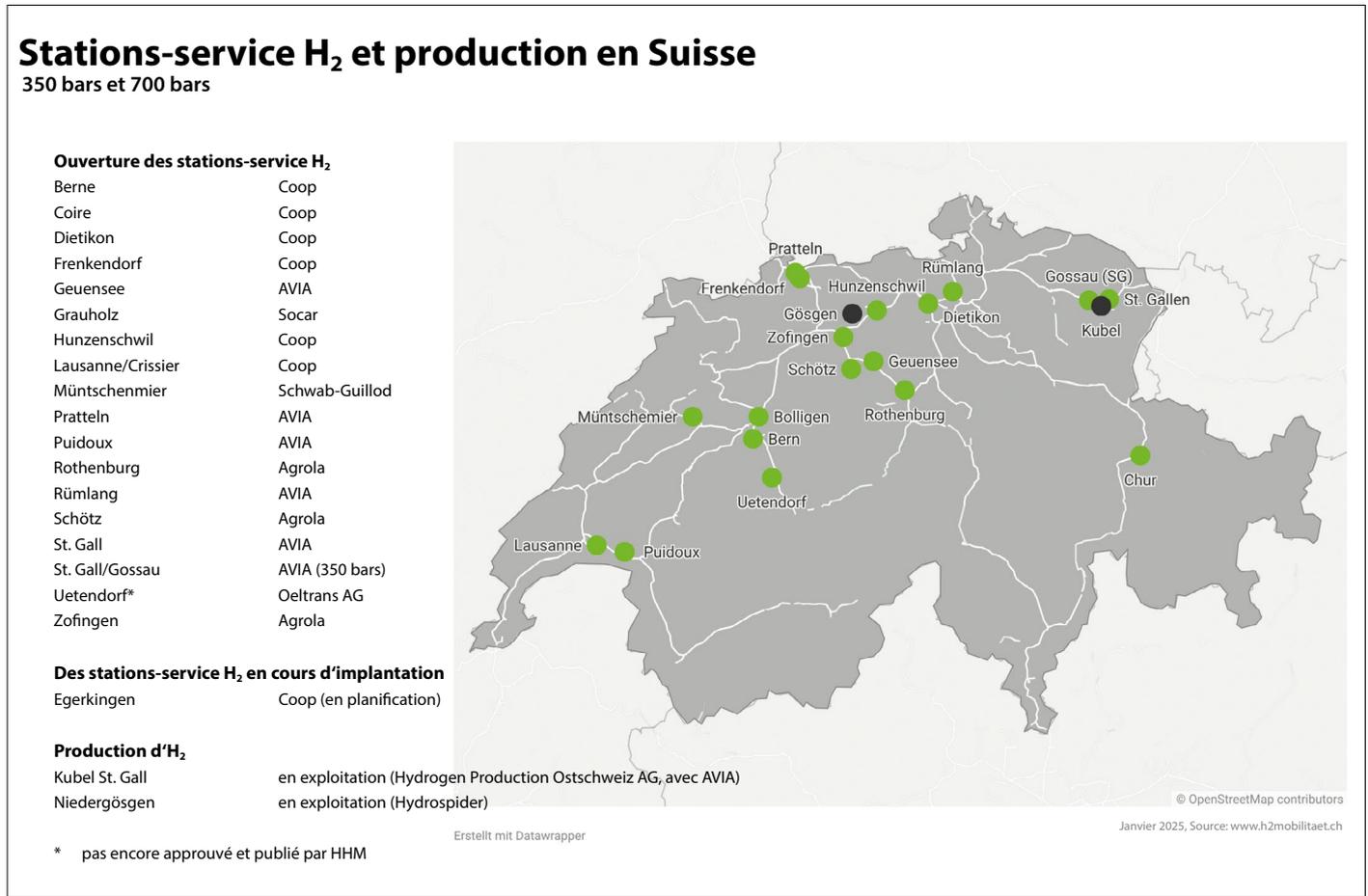
La méthode de production détermine le bilan environnemental

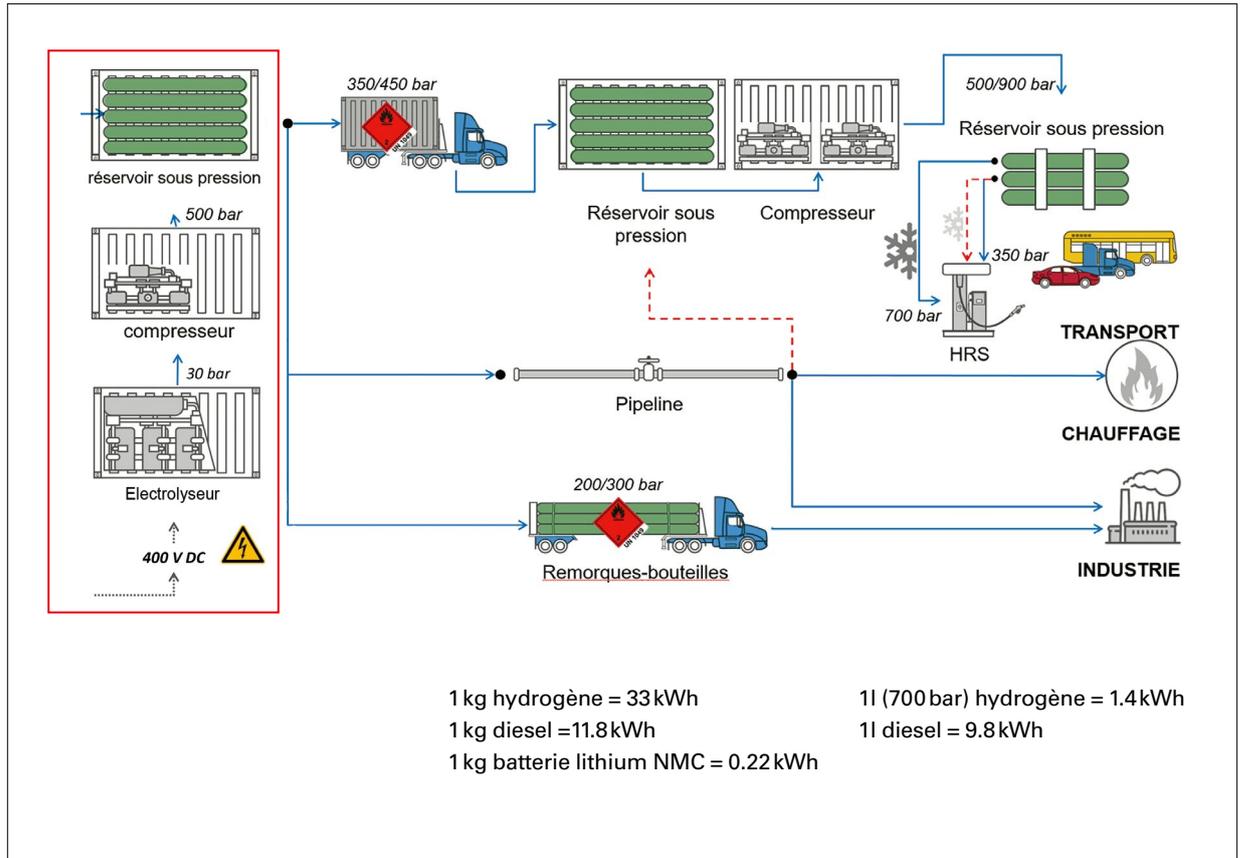
Dans le cas de la propulsion à l'hydro-

gène, le bilan global des émissions dépend fortement de la manière dont l'hydrogène est produit (voir page 17). La production nécessite dans tous les cas de l'énergie. Aujourd'hui, 95 % de l'hydrogène est produit à partir de sources d'énergie fossiles (principalement le gaz naturel, mais aussi le charbon) et seulement 5 % à partir d'énergies renouvelables. Si l'hydrogène est produit avec des énergies renouvelables, le bilan (émissions équivalentes de CO₂) est similaire à celui des voitures électriques fonctionnant avec de l'électricité produite à partir d'énergies renouvelables. Si l'hydrogène est produit avec du gaz naturel, le bilan est plutôt comparable à celui d'une voiture diesel.

Le réseau suisse de stations-service H₂ s'étend

Des entreprises comme Agrola AG, AVIA Vereinigung, Coop Mineraloel AG, fenaco Genossenschaft et Migrol AG se sont regroupées au sein de l'association de promotion de la mobilité H₂ Suisse dans le but de mettre en place un réseau de stations-service à hydrogène couvrant





La chaîne d'approvisionnement de l'hydrogène, de la production aux consommateurs.

l'ensemble du territoire suisse. Pour l'agriculture, l'utilisation de l'hydrogène soulève toutefois d'autres questions que celle de la disponibilité.

Par exemple, comment l'hydrogène peut-il être stocké dans une exploitation ? Un réservoir d'hydrogène a des exigences plus élevées en matière de sécurité, ce qui entraîne des coûts initiaux considérables qui ne peuvent

être amortis que si la flotte de véhicules est plus importante. Il est donc envisageable que les exploitations agricoles coopèrent avec des entreprises de transport régionales pour l'approvisionnement en hydrogène. Le fabricant britannique de machines de chantier JCB, mentionné au début, a par ailleurs récemment présenté une installation mobile de ravitaillement en hydrogène qui permet de transporter facilement l'hydrogène vers les machines utilisées sur les chantiers ou dans les champs.

Hydrogène -Pile à combustible à hydrogène vs. moteur à combustion interne à hydrogène

Pile à combustible à hydrogène	Moteur à combustion interne à hydrogène
+ Pas de bruit	+ Utilisation à la place d'un moteur diesel conventionnel
+ Pas de gaz d'échappement nocifs pour l'environnement	+ Pas besoin de nouvelle plateforme de véhicule
+ Pas d'émissions de CO ₂	+ Composants connus
+ Rendement plus élevé	
- Nécessite de nouvelles plates-formes de véhicules	- Bruit d'un moteur à combustion interne
- Nécessite une batterie	- Émissions de NO _x
	- Rendement plus faible

Deux exemples de moteurs à combustion interne à hydrogène

VM Motori R753-H2

Le moteur à hydrogène R753-H2 de VM Motori (Stellantis Group), également présenté sur le stand d'Agrotec à l'Agrama, est basé sur le moteur trois cylindres en ligne R753 de 2,2

Les différentes classifications de l'hydrogène

Blanc	L'hydrogène blanc est de l'hydrogène naturel qui se trouve souvent en combinaison avec des hydrocarbures fossiles et de l'hélium et qui peut être extrait par exemple par fracturation. Encore très rare aujourd'hui.
Vert	Hydrogène issu de l'électrolyse dont l'électricité provient d'énergies renouvelables (soleil, eau, ...). L'hydrogène issu de la biomasse ou du biométhane, qui émet moins de 3g de CO ₂ /kg d'hydrogène). Il convient l'utilisation en raison de son bon écobilans dans les véhicules .
Rose	Hydrogène à faible teneur en carbone (par exemple, électrolyse avec de l'énergie nucléaire)
Jaune	Hydrogène par électrolyse avec un mix énergétique
Gris	L'hydrogène, produit à partir du gaz par évaporation du méthane ou par électrolyse avec de l'électricité
Bleu	Comme gris, mais les émissions de CO ₂ sont captées
Marron	Hydrogène produit à partir de lignite, émissions de CO ₂ très élevées
Noir	Hydrogène produit à partir de charbon, émissions de CO ₂ très élevées
Turquoise	Hydrogène obtenu par pyrolyse du méthane

litres de la même entreprise, qui est utilisé dans les véhicules de série actuels. Il ne nécessite donc que peu d'adaptations au niveau de la chaîne cinématique. L'entretien, la recherche de pannes, le service et le ravitaillement ne diffèrent que très peu. Les principales modifications concernent les injecteurs, la rampe commune, les pistons, les bougies, la bobine d'allumage et le régulateur de pression. Avec une puissance de 62 kW et un couple de pointe de 270 Nm, la performance du moteur H₂-ICE sera supérieure d'environ 10 pour cent à celle du moteur diesel dont il est issu. Le moteur sera conforme aux normes d'émission EURO VI E et STAGE V. La production en série est prévue pour 2026.

Deutz TCG 7.8 H₂

Le TCG 7.8 H₂ de Deutz est basé à 75 pour cent sur le moteur diesel TCD 7.8 bien établi.

Grâce au moteur éprouvé et à la maturité de la série, tant une grande facilité d'entretien qu'un bon approvisionnement en pièces sont garantis. Les mécaniciens n'ont pas besoin d'un réapprentissage, mais seulement d'une brève introduction aux nouveaux composants du H₂. Le moteur à six cylindres, d'une puissance de 220 kW, n'est pas seulement neutre en termes de CO₂, mais aussi très silencieux. Selon le constructeur, il convient en principe à toutes les applications actuelles. Deutz a récemment reçu une première commande de la Chine pour une petite série de 100 ensembles H₂ entraînés par le TCG 7.8 H₂. ■

*Damien Jaquet
Emanuel Scheidegger*