

HYDROGÈNE. LA SOLUTION QUI DÉFIE LES ÉTATS DE PENSER LE LONG TERME

Produit proprement, l'hydrogène pourrait s'imposer comme un pilier de la transition énergétique. L'industrie lourde et les transports, grands émetteurs de CO₂, comptent sur lui pour décarboner leurs activités sans perdre en compétitivité. À condition d'investir dès maintenant et massivement.

Ruée. Nom féminin. Correspond à un mouvement rapide d'un grand nombre de personnes dans la même direction. Il y a eu l'or, le pétrole et d'autres, ce serait maintenant au tour du dihydrogène, plus connu sous le nom d'hydrogène. États et industriels y vont tous de leurs annonces afin de produire ou de fournir massivement ce gaz paré de vertus climatiques séduisantes : lors de sa combustion pour créer de l'énergie, il ne rejette que de la vapeur d'eau. Pas de dioxyde de carbone (CO₂) à l'horizon. Le réchauffement climatique n'a qu'à bien se tenir. Le plan a tout du scénario parfait, encore faut-il que cet hydrogène soit de la bonne couleur. Pour l'heure, la quasi-totalité de l'hydrogène utilisé dans le monde est dit gris, car produit à partir de combustibles fossiles, comme le gaz naturel ou le charbon. Pour 1 kilogramme d'hydrogène gris obtenu, compter 10 kilogrammes de CO₂ émis.

DE L'EAU, UN PEU DE CHIMIE ET DE L'ÉLECTRICITÉ

Alors l'enjeu, demain, c'est qu'il soit « vert ». Les ingrédients ? De l'eau, un peu de chimie et de l'électricité. Électricité qui doit elle-même être décarbonée. On mise particulièrement sur les énergies renouvelables, comme l'éolien, le solaire ou l'hydrau-

lique. Certains pays comptent aussi sur le nucléaire et sa faible intensité carbone, notamment la France. Il faut alors parler d'hydrogène « jaune ».

Voilà l'ambition, pour l'heure contrariée. Car créer ce vecteur énergétique proprement au regard du climat et dans des quantités suffisantes est, aujourd'hui, loin d'être rentable. Mais dans trente ans ? D'ici à 2050, l'hydrogène « vert » sera moins cher à produire que l'hydrogène « gris », prédisent les analystes de BloombergNEF dans une étude parue fin mars. À condition toutefois que les gouvernements jouent le jeu, à base de subventions publiques. Et les États de faire marcher la planche à billets, motivés par l'objectif d'atteindre la neutralité carbone – soit l'équilibre entre les rejets de dioxyde de carbone dans l'atmosphère et leur absorption via des puits naturels ou artificiels – en 2050. Une mission impossible sans réduire les émissions de CO₂ de l'industrie lourde et des transports, qui voient dans l'hydrogène une partie de leur salut. ★

LUCAS MARTIN-BRODZICKI

lucas.martin-brodzicki@humanite.fr

Produire de l'hydrogène vert en quantité reste très coûteux. Mais dans trente ans ? Une étude prédit sa rentabilité d'ici à 2050.



Déjà utilisé comme carburant dans l'aérospatiale, l'hydrogène décarboné est employé à titre expérimental dans tous les transports (à Nantes, une station fournit les véhicules à hydrogène de la région). Ce gaz qui ne rejette que de la vapeur d'eau a montré son immense potentiel.





BORIS HORVAT / AP

Total et Engie se sont associés pour créer au sein de la raffinerie de la Mède, près de Marseille, « le plus grand site d'hydrogène renouvelable du pays ». Le projet Masshyla manque pourtant d'ambition.

EN FRANCE, LE NOUVEAU MEILLEUR AMI DES INDUSTRIES LOURDES ET GAZIÈRES ?

Parce qu'il permet de stocker l'électricité, notamment celle issue de l'éolien et du solaire, l'hydrogène doit accompagner le boom annoncé des énergies renouvelables. La France mise également sur le nucléaire.

Nom de code, Masshyla. Ce pourrait être le plus grand site de production d'hydrogène vert de France. Des panneaux solaires pour l'électricité renouvelable et un électrolyseur d'une puissance industrielle de 40 mégawatts pour obtenir le précieux gaz, avec une production de 5 tonnes par jour dans un premier temps. Ce projet, porté par Total et Engie, est présenté comme indispensable à la stratégie de verdissement du géant pétrolier. Il sera implanté en plein cœur de sa bioraffinerie de la Mède, à Châteauneuf-les-Martigues (Bouches-du-Rhône), et doit permettre de remplacer l'hydrogène gris, utilisé lors du processus de fabrication de carburants, par de l'hydrogène vert. Le gain pour Total ? 15 000 tonnes d'émissions de CO₂ évitées par an, à en croire les estimations du géant

français. Le coût du chantier ? 160 millions d'euros, selon Capenergies. Un démarrage de la production est espéré pour 2024, « sous réserve de la mise en place des soutiens financiers et autorisations publiques nécessaires ». Total et Engie entendent profiter d'une partie des 7 milliards d'euros mis sur la table par la France.

« NÉBULEUX » CHEZ TOTAL

Sa « stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné » remonte à septembre 2020. Le gouvernement part alors d'un constat : 900 000 tonnes d'hydrogène sont utilisées chaque année sur le territoire. Une consommation à l'origine de 9 millions de tonnes de CO₂. Le plan français doit permettre de produire 600 000 tonnes de ce gaz par an d'ici à 2030, mais de manière plus propre, au regard du climat. L'État compte s'appuyer à la fois sur ses capacités nucléaires et sur le développement des énergies renouvelables. Lors de la présentation du plan, Barbara Pompili, ministre de l'Environnement, lançait solennellement : « L'enjeu est écologique, technologique et économique ! »

Dans cet ordre ? Dans le cas du projet de Total, « cela reste nébuleux », admet Fabien Cros, secrétaire CGT du conseil social et économique de Total la Mède. « Le groupe a suffisamment de milliards pour investir à l'étranger, c'est regrettable qu'il demande les millions de la France pour ce projet », continue le syndicaliste. S'il voit d'un bon œil l'implantation d'une unité de production d'hydrogène vert sur le site, encore faut-il savoir de quoi il en retourne. « 62 tonnes d'hydrogène gris sont utilisées chaque jour lorsque la raffinerie tourne à plein régime. Y injecter 5 tonnes de vert, voire 15 lors des pics de production, ça ressemble plus à un démonstrateur industriel qu'à un projet révolutionnaire », illustre Fabien Cros. Plusieurs inconnues subsistent par ailleurs : le projet n'est pas chiffré en termes d'emplois et l'emplacement des panneaux photovoltaïques reste à définir. Pour installer la ferme solaire d'une puissance d'environ 100 mégawatts, il va falloir trouver une centaine d'hectares. « Il nous reste seulement 10 hectares à l'intérieur du site et nous souhaitons les conserver pour de futurs projets industriels », prévient Fabien Cros.

L'hydrogène « bleu », au cœur du partenariat entre Air Liquide et ArcelorMittal, semble un sauf-conduit pour continuer à polluer.

Difficile, dans ces conditions, de voir en l'hydrogène une solution miracle. « Il ne fera pas tout », admettait Philippe Boucly, président de l'association France Hydrogène, lors d'une table ronde sur le sujet au Sénat, tout en se félicitant que le plan français « corresponde à ce que nous avions présenté ». Derrière France Hydrogène, anciennement l'Association française pour l'hydrogène et les piles à combustible, se retrouvent des acteurs du gaz fossile, qu'eux préfèrent appeler « naturel », Engie et Air Liquide, notamment.

LA SIDÉRURGIE TRÈS GOURMANDE EN HYDROGÈNE

En mars, ce dernier a signé un protocole d'accord avec ArcelorMittal, le plus important producteur d'acier au monde. Car la sidérurgie est l'un des secteurs appelés à devenir très gourmand en hydrogène, s'il veut réduire son empreinte carbone. Ce partenariat entre les deux géants pourrait conduire à réduire les émissions annuelles de CO₂ du site de production de Dunkerque d'ArcelorMittal de 2,85 millions de tonnes d'ici à 2030. Il relâche actuellement plus de 11 millions de tonnes chaque année.

Des proportions sans commune mesure avec les quelques milliers de tonnes que Total espère éviter à la Mède. Pourtant, le diable se cache dans les détails. Car Air Liquide, qui table sur un triplement de ses revenus liés à l'hydrogène pour 2035, compte fournir à ArcelorMittal, au moins dans un premier temps, de l'hydrogène « bleu ». Lui préfère l'appeler « bas carbone ». Soit de l'hydrogène produit à partir de gaz fossile, mais avec captage et séquestration de CO₂. Si l'interception du dioxyde de carbone avant qu'il ne s'échappe dans l'atmosphère fonctionne, son enfouissement sous terre est loin d'être convaincant : coûts très élevés, risques de séismes ou de fuites entraînant une hausse de l'acidification des océans sont les principaux reproches faits à cette technologie. Pourtant, la Commis-

sion européenne considère cet hydrogène bas carbone comme acceptable, donc ouvert aux subventions. Au moins « dans une période de transition », peut-on lire dans sa feuille de route « Hydrogène pour une Europe climatiquement neutre », en date du 8 juillet 2020.

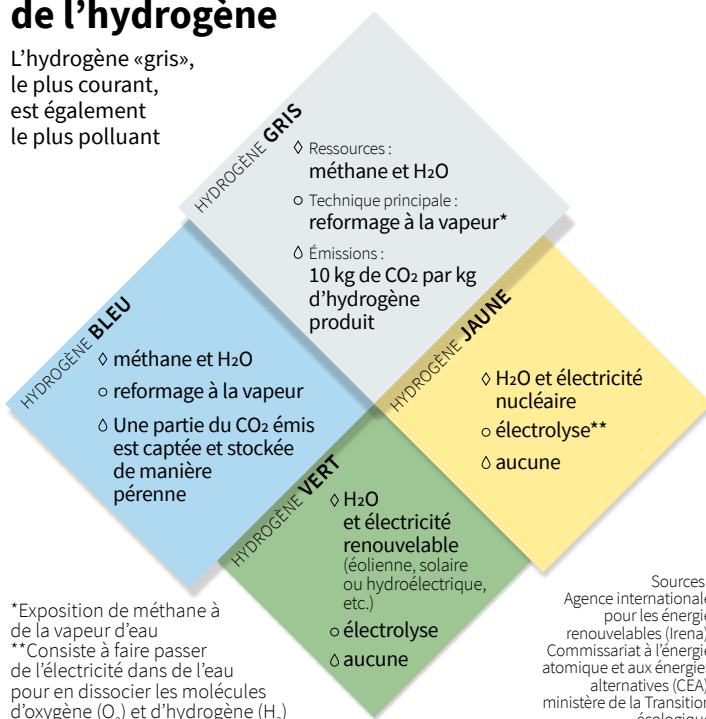
Quelques mois plus tard, en décembre, l'ONG Corporate Europe Observatory, qui

plaide pour une plus grande transparence des activités de lobbying, accusait l'hydrogène bas carbone d'être avant tout un « cheval de Troie » pour l'industrie gazière. Qui souhaite assurer au gaz fossile une place de choix dans la politique énergétique européenne des décennies à venir. ★

LUCAS MARTIN-BRODZICKI
lucas.martin-brodzicki@humanite.fr

La production de l'hydrogène

L'hydrogène « gris », le plus courant, est également le plus polluant



*Exposition de méthane à de la vapeur d'eau
**Consiste à faire passer de l'électricité dans de l'eau pour en dissocier les molécules d'oxygène (O₂) et d'hydrogène (H₂)

Sources :
Agence internationale pour les énergies renouvelables (Irena),
Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA),
ministère de la Transition écologique



LES PRINCIPALES COULEURS DE L'HYDROGÈNE

Hydrogène vert Il est produit grâce à un électrolyseur, qui permet de séparer des éléments chimiques. En l'occurrence, en recevant un courant électrique, l'eau (ou molécule H₂O) se décompose en dioxygène (O₂) et dihydrogène (H₂). Il faut en outre que l'électricité utilisée soit exclusivement d'origine renouvelable.

Hydrogène jaune C'est le même principe que pour le vert, mais l'électricité provient cette fois d'un réacteur nucléaire. Ceux qui ne souhaitent pas faire la distinction avec

l'hydrogène vert parlent d'hydrogène dé-carboné. C'est le cas de la France.

Hydrogène gris La technique principale est le vaporeformage. On part du méthane (ou CH₄), principale composante du gaz naturel, bombardé de vapeur d'eau (H₂O) chauffée en présence d'un catalyseur au nickel. Après plusieurs étapes, il se forme du dioxyde de carbone (CO₂) et du dihydrogène (H₂).

Hydrogène bleu C'est le même principe que pour le gris, mais avec des technologies de capture et de séquestration de CO₂.

AÉRONAUTIQUE : UN PLAN DE VOL MAIS PAS DE DÉCOLLAGE À L'HORIZON

La France s'est fixé l'objectif d'avoir développé son premier modèle pour 2035. Optimiste, très optimiste, relèvent les spécialistes, au regard des obstacles à franchir.

On en parlait depuis longtemps, sans vraiment s'en fixer l'ambition : depuis cet automne, c'est fait. La France espère développer son premier avion à hydrogène pour 2035. Ce qui paraissait futuriste, d'un coup, semble à portée d'aile. Quant à savoir s'il s'agit d'une promesse en l'air, c'est une autre histoire. L'avion commercial à hydrogène a plus de chances de décoller un jour que l'avion électrique, expliquent les spécialistes en substance. Mais quand ? « Quinze années pour franchir les obstacles auxquels il se confronte, c'est un délai très court », résume Cédric Philibert, consultant indépendant, ancien responsable de l'Agence de la transition écologique (Ademe) et de l'Agence internationale de l'énergie (AIE). À supposer, note-t-il, que l'on y parvienne. Rapide check-list de ce qui roule et de ce qui déraile.

PLUS EFFICACE, MOINS POLLUANT

Doté d'un meilleur rapport énergétique que le kérosène, l'hydrogène libère plus de calories par kilo. Sa combustion ne dégage quant à elle aucune émission de dioxyde de carbone (CO₂). Pour peu qu'il en aille de même que sa production, cela fait de lui un carburant impeccablement climato-compatible. Encore faut-il disposer de cette électricité verte en quantité suffisante : pour produire 1 kWh d'énergie d'hydrogène liquide, il faut environ 3 kWh d'électricité. Considérant les besoins actuels du trafic aérien, cela représente 40 % de la production électrique disponible aujourd'hui, toutes sources

confondues. Ramenée aux perspectives d'avant la crise – triplement du trafic aérien d'ici à 2050 –, la somme devient monumentale.

VOLUMINEUX MAIS FIN

À température usuelle, l'hydrogène est un gaz : par définition, il occupe tout l'espace qui lui est imparti. Même une fois comprimé, il nécessite un réservoir 7 à 8 fois plus volumineux que celui nécessaire au kérosène. Sa molécule, en outre, est extrêmement petite et fragilise l'acier. Au final, cela pose plusieurs défis aux ingénieurs. « Le volume que nécessitent ses réservoirs est un réel problème pour les avions, dont la place est comptée », explique Cédric Philibert.

INTOLÉRANT À LA CHALEUR

La question du volume semble plus proche d'être résolue avec l'hydrogène liquide. Sous cette forme, il n'occupe plus que 4 à 5 fois le volume de l'essence. Le problème est que, pour l'y maintenir, la température ne doit pas excéder les -253 °C. « On ne dispose pas à ce jour des matériaux suffisamment isolants pour le conserver à une température aussi basse », poursuit le spécialiste de l'énergie.

ENCOMBRANT ET INFORME

Les spécialistes, de fait, se cassent le nez sur le réservoir idéal, résistant, isolant, mais suffisamment léger pour que l'engin décolle. « Classiquement, l'essence est stockée dans les ailes. Mais cela offre une surface d'échange thermique bien trop importante pour convenir à l'hydrogène. » La sphère serait la forme la plus adaptée – c'est d'ailleurs celle retenue dans l'aérospatiale. Mais où la caser dans un avion ? Le cylindre pourrait être un bon compromis, qui ne trouverait sa place que dans le fuselage, restreignant la place disponible pour les passagers. « Sa proximité avec eux rendrait en outre les opérations de remplissage des réservoirs délicate et même dangereuse, dans la mesure où l'hydrogène est extrêmement inflammable. »

POUR 2050 ?

Le sera-t-il à temps pour avoir un effet contre le réchauffement ? Cédric Philibert en doute. Viser la neutralité carbone à l'horizon 2050 implique de mener des actions fermes durant la prochaine décennie. À coup sûr, l'avion à hydrogène n'en fera pas partie. ★

MARIE-NOËLLE BERTRAND

marie-noelle.bertrand@humanite.fr

Le blended-wing body, l'un des 3 prototypes présentés par Airbus. Nombre de contraintes restent non résolues, notamment celle liée au stockage de l'hydrogène et aux réservoirs.



« L'HYDROGÈNE À GRANDE ÉCHELLE EST UN PARI INDUSTRIEL »

Ce vecteur énergétique regorge de promesses mais n'en est qu'à ses balbutiements, avertit le spécialiste **Mikaa Mered** (*). La course pour en faire une véritable alternative aux systèmes fossiles est lancée, elle nécessite tout l'engagement et la puissance financière des États.



DAHMANE

MIKAA MERED
Enseignant en géopolitique et marchés de l'hydrogène à HEC

Longtemps ignorée, parfois décriée, la technologie hydrogène bénéficie aujourd'hui d'un soutien massif des États. Comment expliquer ce revirement soudain ?

La première raison est d'ordre politique. Dans le contexte de l'accord de Paris, les États s'engagent dans des trajectoires de transition énergétique afin de poursuivre leur développement, tout en réduisant son impact sur l'environnement et le climat. Certains croient profondément en l'hydrogène et investissent massivement. Dans d'autres pays, comme en Europe ou aux États-Unis, l'hydrogène reste un outil marketing qui permet de promouvoir l'idée de croissance verte. Enfin, des États comme la Russie souhaitent maintenir leur rente énergétique, et l'hydrogène peut être une bonne solution face à la désaffection attendue des investisseurs vis-à-vis des énergies fossiles.

D'un point de vue technologique, certains grands conglomérats internationaux ont continué d'investir sur l'hydrogène malgré ses défauts, car il s'intégrait dans leur modèle économique.

C'est le cas d'Air Liquide, spécialiste des gaz industriels et fournisseur d'hydrogène pour la production d'ammoniac ou le raffinage pétrolier. Or, il y a eu, ces cinq ou six dernières années, des découvertes qui permettent d'envisager de l'hydrogène à grande échelle et bas carbone. Cet intérêt plus ou moins sincère écologiquement des politiques, combiné aux progrès technologiques, attire aujourd'hui les appétits économiques et les investissements.

La pétrochimie, la métallurgie, les mobilités lourdes... tous ces secteurs veulent de l'hydrogène bas carbone. L'offre peut-elle satisfaire la demande ?

Aujourd'hui et à horizon 2030, pas du tout. Peut-il devenir aussi compétitif, voire moins cher, que des systèmes énergétiques fossiles, tout en étant produit proprement et en quantité suffisante au regard du climat ? C'est tout l'enjeu. Mais cela reste avant tout une course géopolitique et économique, qui va dépendre des stratégies de chaque État. La France mise sur des hubs de production locaux et risque de se retrouver dans ce cas de figure où l'offre ne se développe pas suffisamment pour répondre à la demande. D'autres États, comme le Japon, la Corée du Sud ou l'Allemagne, ont choisi de développer de grandes chaînes d'approvisionnement bilatérales, avec des

pays ayant d'importants gisements d'énergies renouvelables. Ces derniers pourraient devenir des exportateurs d'hydrogène, comme il y a des exportateurs de pétrole.

Ces stratégies, calquées sur les desiderata des industriels et pleines d'inconnues, sont financées par de l'argent public. Est-ce de l'argent bien investi ?

Je pourrai répondre à cette question lorsque les effets multiplicateurs promis se matérialiseront, ou pas. Mais il est clair que l'argent public investi par les différents gouvernements dans le monde entier consiste à faire supporter le risque de la recherche et développement par les États, plutôt que par les entreprises elles-mêmes. Ce qui a été proposé à la Commission européenne par les lobbies du gaz et de l'hydrogène, c'est de mettre quelques milliards sur la table pour débloquer les financements, prendre en charge les coûts de déploiement de cette technologie et la faire sortir des laboratoires. Eux promettent ensuite de surinvestir pour créer des emplois et de la valeur. C'est un pari industriel : cela peut être un jackpot pour la planète, mais il n'y a aucune garantie que cela fonctionne. ★

ENTRETIEN RÉALISÉ PAR L. M.-B.

(*) Auteur de « Hydrogène, enjeux économiques et géopolitiques » (PUF) (à paraître en 2021).

« Paris mise sur des hubs de production locaux plutôt risqués. Tokyo, Séoul ou Berlin sur de grandes chaînes bilatérales d'approvisionnement. »