

À la faveur de la relance, « l'économie hydrogène » gagne en crédibilité

SAMUEL LAVAL • Chargé de recherche, Observatoire Climate Chance

MARINE BRUNIER • Assistante de recherche, Observatoire Climate Chance

Peu connu du grand public il y a encore quelques années, l'hydrogène bénéficie désormais d'un fort soutien politique, et suscite beaucoup d'espoir pour devenir un vecteur énergétique stratégique d'un monde bas carbone. Mais qu'en est-il réellement ? Les projets d'aujourd'hui sont-ils tournés vers la décarbonation ? Les multiples annonces ont-elles été suivies d'une multiplication des investissements ? Soucieuses de se diversifier alors que la neutralité carbone devient la boussole climatique internationale, les entreprises du *oil and gas* se sont rapidement positionnées sur le marché de l'hydrogène. Son essor apporte également un nouvel espoir à des secteurs dont la décarbonation semblait dans l'impasse : les industries lourdes.



PANORAMA DES DONNÉES

Encore balbutiant, l'hydrogène bas carbone est propulsé sur le devant de la scène par les États

Rouler ou voler en émettant de la simple vapeur d'eau, produire de l'acier « zéro carbone », chauffer les bâtiments, stocker l'électricité issue des énergies renouvelables intermittentes... Ces dernières années, les applications prometteuses de l'hydrogène pour décarboner l'économie ont été très discutées.

La production d'hydrogène actuelle est pourtant bien loin d'être bas carbone : en 2018, elle était responsable de l'émission d'environ 830 mégatonnes (Mt) de CO₂¹. En effet, 98 % de la production actuelle est qualifiée de « grise »², ce qui signifie qu'elle est issue de procédés ayant recours à des combustibles fossiles (reformage du méthane ou gazéification du charbon) (fig. 1), générant environ 10 kgCO_{2,e} pour la production de chaque kilogramme d'hydrogène³. Les 2 % restant sont produits à partir de l'électrolyse de l'eau, un procédé alimenté par de l'électricité, la plupart du temps d'origine fossile. La part de l'hydrogène « vert », c'est-à-dire produit par électrolyse de l'eau à partir d'électricité renouvelable, n'excède pas 0,3 % tandis que l'hydrogène « bleu », produit dans des sites équipés de technologies de capture et stockage de carbone (*Carbon Capture, Utilization and Storage* – CCUS)⁴, représente à peine 1,1 % de la production globale. Ainsi, seulement 1,4 % de l'hydrogène actuellement produit est « bas carbone », en raison de coûts de production peu compétitifs comparé aux alternatives carbonées (fig. 2).

Par ailleurs, les applications bas carbone de l'hydrogène sont encore très minoritaires. En 2018, l'AIE estimait à environ 120 Mt la quantité d'hydrogène produite dans le monde : 75 Mt sous forme « pure », utilisées principalement pour le raffinage du pétrole (38,2 Mt) et la production d'ammoniac (31,5 Mt), et 45 Mt « mélangées » à d'autres gaz pour produire des gaz de synthèse, utilisés par exemple pour la production de méthanol (14 Mt), un produit intermédiaire de la production de plastique entre autres, ou dans des procédés industriels (sidérurgie par exemple)^{4,5}. La pandémie de Covid-19 a fait chuter cette production. En Europe, la demande d'hydrogène pur a baissé d'environ 10 %, tandis que celle pour l'hydrogène mélangé a diminué de plus de 25 %, principalement à cause du ralentissement des activités consommatrices d'hydrogène comme le raffinage du pétrole ou l'industrie chimique⁶.

L'année 2020 a marqué un véritable tournant pour la filière : l'hydrogène bas carbone s'est fait une place de choix dans les annonces d'investissements publics et privés post-confinement. Plusieurs sources ont tenté de recenser et de suivre les différentes annonces en faveur de l'hydrogène.

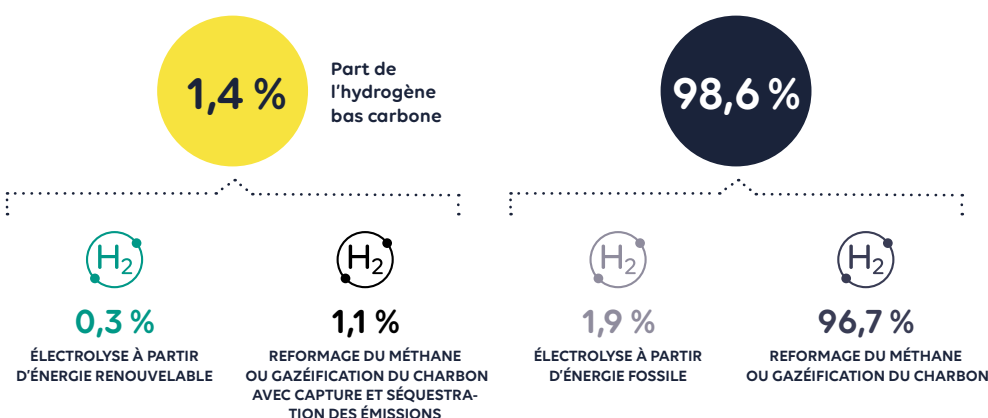
Selon Energy Policy Tracker, depuis le début de la pandémie, dix États^a et l'Union européenne se sont engagés à investir environ 20 milliards de dollars en faveur de l'hydrogène⁷.

REN21 compte pour sa part 12 juridictions (11 États et l'UE) ayant des objectifs et des politiques concernant l'hydrogène bas carbone⁸. Par exemple, côté européen, le Portugal a annoncé un investissement de sept milliards d'euros dans l'hydrogène « vert » et la France 9 Md€, avec pour objectif

a Le Canada, la France, l'Australie, le Royaume-Uni, la Pologne, la Russie, la Nouvelle-Zélande, l'Espagne, l'Allemagne, la Norvège.

FIGURE 1

PART DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE PRODUCTION D'HYDROGÈNE - Source : Climate Chance, d'après [Global CCS Institute](#), 2021



une capacité de 6,5 GW d'électrolyseurs installée à horizon 2030. Le Royaume-Uni espère attirer 4 milliards de livres pour développer l'utilisation de l'hydrogène dans le chauffage des bâtiments (en le combinant au gaz naturel, réduisant ainsi son utilisation) et dans les transports⁹, et décarboner l'industrie lourde. En Australie, le gouvernement s'est engagé à investir 284 millions de dollars afin de soutenir le développement de projets d'hydrogène vert. Le gouvernement fédéral américain prévoit d'injecter 64 millions de dollars pour le développement de 18 projets d'hydrogène vert.

L'Agence internationale de l'énergie (AIE) recense 17 États ayant adopté une stratégie relative à l'hydrogène qui, au total, prévoient des investissements de 37 milliards de dollars, alors qu'ils n'étaient que trois en 2019 (France, Japon, Corée du Sud)¹⁰. Le Chili, fort de la multiplication par cinq de ses capacités de production d'énergie renouvelable au cours des six dernières années, a publié une stratégie pour le développement de l'hydrogène vert en 2020, pour laquelle il prévoit d'injecter 50 millions de dollars¹¹. Le Canada a également publié une stratégie pour l'hydrogène, qui vise à atteindre 30 % d'hydrogène décarboné d'ici 2050¹².

L'hydrogène vert bénéficie également d'un fort soutien politique en Afrique : les annonces de projets et de partenariats se sont multipliées au cours de l'année. En juin 2020, le Maroc a conclu un accord avec l'Allemagne pour un projet d'hydrogène vert porté par l'Agence marocaine de l'énergie solaire. Si les récentes tensions politiques entre les deux pays ont pu ralentir le projet, le Maroc et l'IRENA ont déclaré en juin 2021 avoir signé un accord visant à faire progresser le développement et la consommation d'hydrogène vert dans le royaume chérifien¹³. Le gouvernement allemand a par ailleurs accordé un financement de 40 millions d'euros à la Namibie pour soutenir la recherche et le développement de l'industrie de l'hydrogène vert¹⁴. En Mauritanie, le gouvernement et la société d'énergie renouvelable CWP Global ont signé un protocole pour développer un électrolyseur d'une capacité de 30 GW utilisant de l'électricité d'origine éolienne et solaire, sur 8 500 kilomètres carrés afin de produire de l'hydrogène vert et

ses dérivés, notamment de l'ammoniac¹⁵. Enfin, dans le cadre de sa « Stratégie énergie 2035 », le gouvernement égyptien a annoncé vouloir investir quatre milliards de dollars dans la production d'hydrogène vert, en partenariat avec Siemens¹⁶.

En plus de développer les infrastructures de production, les États destinent une grande part de leurs investissements au secteur des transports. Ainsi, la stratégie hydrogène allemande prévoit d'injecter 3,6 milliards d'euros dans les transports sur les 12 milliards prévus pour le développement de l'hydrogène¹⁷. Le Japon place aussi la mobilité au cœur de sa stratégie hydrogène, et ambitionne de produire 800 000 voitures à pile à combustible d'ici 2030 (**cf. cas d'étude Tokyo**). Dans cette optique, le gouvernement subventionne à hauteur de 18 000 dollars l'achat d'un nouveau véhicule, et les préfectures à hauteur de 9 000 dollars, soit 42 % du prix d'un véhicule à hydrogène standard¹⁸. De même, la France dédiera à la décarbonation de la mobilité lourde 27 % des 3,4 milliards d'euros alloués sur la période 2020-2023 dans le cadre de sa Stratégie nationale pour l'hydrogène.

Selon les chiffres de l'AIE, les investissements des gouvernements ne sont qu'une goutte d'eau comparés aux 300 milliards de dollars annoncés par le secteur privé¹⁰. En particulier, les entreprises du *oil and gas* et de l'industrie lourde intègrent l'hydrogène à leur stratégie climat et tablent sur son déploiement à grande échelle pour leur décarbonation.



Faire du vieux avec du neuf : l'hydrogène laisse entrevoir un futur vert aux industries les plus émettrices

Les compagnies pétrolières et gazières s'engouffrent dans l'hydrogène

Les compagnies pétrolières et gazières sont très actives dans l'installation de capacités de production d'hydrogène, fortes de leurs capacités d'investissement et de leur volonté de diversification (cf. dossier **Énergie**), mais également de leurs infrastructures de transport, puisque l'hydrogène peut être transporté par gazoduc. Par exemple, l'initiative *European Hydrogen Backbone*, lancée par douze gestionnaires de réseau de transport de gaz européens, prévoit de créer un immense réseau de transport d'hydrogène à travers l'Europe en se reposant aux deux tiers sur la conversion du réseau gazier existant¹⁹. Au Royaume-Uni, le projet *Zero Carbon Humber* porté par Equinor, l'entreprise sidérurgique British Steel et une dizaine d'autres partenaires souhaite convertir le réseau de gaz de l'estuaire du Humber au transport de l'hydrogène, tout en captant le CO₂ de l'installation de production d'hydrogène pour le stocker en mer du Nord.

L'hydrogène bleu retient particulièrement l'attention de ces entreprises, à l'image du *Quest Project*, mis en place en 2015 par Shell²⁰. Tout d'abord parce qu'il restera certainement moins cher à produire que l'hydrogène vert dans les régions riches en gaz ou en charbon et avec de grands potentiels de stockage de CO₂ comme le Moyen-Orient, l'Afrique du Nord, la Russie ou les États-Unis (fig. 2)²¹, et où les compagnies pétrolières et gazières occupent une place centrale dans le secteur énergétique.

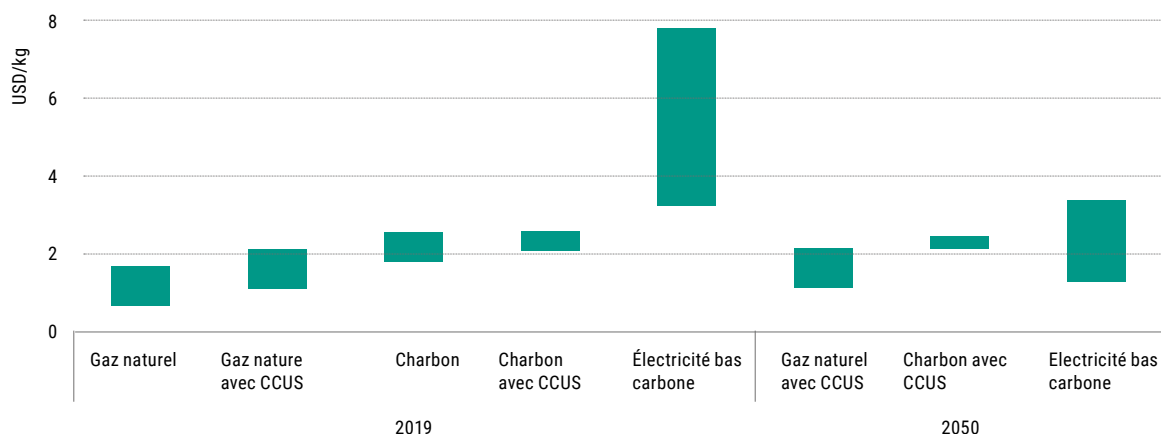
De plus, les installations de production d'hydrogène bleu produisent des volumes bien plus importants que les électrolyseurs. *Sturgeon* et *Nutrien*, les deux projets de production d'hydrogène bleu démarrés en 2020 (portant le total à sept), ont une capacité de production respectivement de 240 tonnes d'hydrogène par jour et 800 t/j²². Ils sont tous deux reliés à l'Alberta Carbon Trunk Line, un pipeline de 240 km qui traverse la province canadienne et permet de transporter et stocker 14,6 MtCO₂ par an, financé à hauteur de 305 millions de dollars par World Carbon Solutions, une entreprise affiliée à la compagnie parapétrolière Wolf Midstream²³. En comparaison, les projets de production d'hydrogène vert sont plus nombreux (l'AIE en compte une cinquantaine opérationnels actuellement²⁴), mais leur capacité de production totale est bien moindre. La plus grande centrale de production d'hydrogène vert a été mise en service en 2020 à Fukushima au Japon : d'une capacité de 10 MW, elle produit en moyenne 2,4 tonnes d'hydrogène par jour²⁵.

Ainsi, alors qu'il restait jusqu'à maintenant confidentiel, l'hydrogène bleu bénéficie d'un fort regain d'intérêt. En Russie, le plus grand producteur mondial de gaz Gazprom a annoncé fin 2020 la création d'une nouvelle filiale, la Gazprom Hydrogen Company, qui doit notamment construire une usine de production d'hydrogène bleu à l'extrémité allemande du gazoduc Nord Stream²⁶. La Saudi Aramco, plus grand producteur mondial de pétrole, s'est engagée à investir massivement dans des projets d'hydrogène bleu en Chine²⁷. Les compagnies pétrolières bénéficient aussi du développement de l'hydrogène au Japon qui, dans le cadre de sa Stratégie de croissance bas carbone pour 2050, ambitionne de produire 20 millions de tonnes d'hydrogène par an d'ici 2050. Ainsi, en septembre 2020, l'entreprise saoudienne a effectué sa première livraison d'ammoniac produit à partir d'hydrogène bleu au Japon pour alimenter des centrales électriques à gaz²⁸ (cf. encadré **Pour mieux comprendre**). Quelques mois plus tard, Saudi Aramco a signé un mémorandum d'entente avec le plus grand raffineur du Japon, ENEOS, pour le développe-

FIGURE 2

COÛT MOYEN DE LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE PAR SOURCE D'ÉNERGIE ET PAR TECHNOLOGIE EN 2019 ET EN 2050 (PROJECTION)

Source : AIE, 2020



ment d'une chaîne d'approvisionnement d'hydrogène bleu et d'ammoniac²⁹. L'Abu Dhabi National Oil Company (ADNOC), principale compagnie pétrolière des Émirats arabes unis, a conclu un accord d'étude conjoint (*Joint Study Agreement*) avec des entreprises japonaises pétrolières et énergétiques et une institution administrative indépendante, la Japan Oil, Gas and Metals National Corporation (JOGMEC), pour explorer le potentiel commercial de la production d'ammoniac bleu au Moyen-Orient³⁰.

POUR MIEUX COMPRENDRE

L'AMMONIAC, UNE « AUTRE » FORME D'HYDROGÈNE POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

L'ammoniac (NH₃) est un des débouchés principaux de l'hydrogène, connu pour ses applications en tant qu'engrais dans le secteur agricole. L'ammoniac se présente sous la forme d'un gaz à température ambiante et peut être stocké sous forme liquide une fois comprimé (à -33 °C contre -253 °C pour l'hydrogène). Il est aussi moins coûteux à stocker sur le long terme que l'hydrogène (0,5 \$/kg-H₂ contre 15 \$/kg-H₂ pour l'hydrogène), mais aussi une à deux fois moins cher à transporter par pipeline et jusqu'à trois fois moins cher par bateau. Ainsi, de plus en plus d'acteurs réfléchissent à utiliser l'ammoniac comme combustible, de la même manière que l'hydrogène, en tant que carburant alternatif pour les transports ou pour l'alimentation de centrales à gaz ou à charbon par exemple. En effet, sa combustion ne génère que de l'eau et de l'azote, sans émettre de molécule carbonée ou de particules de suie. Le Japon mise tout particulièrement sur cette molécule pour décarboner son industrie maritime, transporter de l'hydrogène et stocker de l'énergie. En novembre 2020, le ministère japonais de l'Énergie, du Commerce et de l'Industrie (METI) a annoncé la formation d'un Conseil pour travailler sur le développement de l'ammoniac comme produit énergétique. D'ici 2030, le Japon ambitionne d'importer 3 millions de tonnes d'ammoniac « propre » et accélère sa coopération internationale (notamment avec le Moyen-Orient, l'Australie et la Nouvelle-Zélande) pour y parvenir.

Source : [Conférence des présidents d'université, 25/11/2020](#) ; [Ammonia Energy Association, 25/02/2021](#)

Au moins quinze projets d'hydrogène bleu doivent être mis en service d'ici 2027 au Royaume-Uni, en Allemagne, en Norvège, aux Pays-Bas et en Suède³¹. Si tous les projets de production d'hydrogène bleu annoncés sont effectivement mis en œuvre en temps et en heure, la production devrait atteindre 1 Mt en 2030, proche du niveau que projette l'AIE dans son scénario *Net Zero By 2050*¹⁰.

Cependant, en matière de réduction des émissions de GES, la production d'hydrogène bleu n'a rien d'une évidence. Une récente étude publiée par des chercheurs des universités de Stanford et de Cornell estiment que les émissions de l'ensemble du cycle de vie de l'hydrogène bleu ne sont qu'entre 9 et 12 % inférieures à celles de l'hydrogène gris³².

Ainsi, malgré ses coûts élevés, l'hydrogène vert n'a pas dit son dernier mot. En 2020, selon l'AIE, les nouvelles capacités installées pour la production d'hydrogène par électrolyse se sont élevées à près de 65 MW, un record historique, et plus de 400 millions de dollars ont été investis dans des électrolyseurs pour la production d'hydrogène, soit près de quatre fois plus qu'en 2018¹⁰. BloombergNEF a de son côté observé une hausse des investissements dans les infrastructures de production d'hydrogène par électrolyse de 168 millions en 2019 à 189 millions de dollars en 2020³⁹. Les nouvelles capacités de production par électrolyse pourraient exploser à plus de 275 MW en 2021³³. De plus, leur taille moyenne augmente : près de 80 projets visent une capacité supérieure à 100 MW, et 11 projets visent même une capacité de plus d'1 GW¹⁰.

Là encore, les entreprises pétrolières et gazières sont au rendez-vous. Début 2021, Shell a mis en service un électrolyseur d'une capacité de 10 MW, de la même envergure qu'à Fukushima donc³⁴. La major britannique BP s'est associée avec Iberdrola, le géant espagnol des renouvelables, pour construire une centrale de production d'hydrogène vert de 20 MW près de Valence, qui devrait être mise en service en 2023³⁵. En France, Total et Engie ont signé un accord de coopération pour développer un projet d'hydrogène vert de 40 MW avec une capacité journalière de cinq tonnes dans le sud du pays³⁶.

En Égypte, ENI a signé un accord avec les autorités égyptiennes afin de produire et d'exporter de l'hydrogène vert³⁷. En Mauritanie, le gouvernement a accordé une concession offshore exclusive de 14 400 km² à l'entreprise britannique Chariot, en vue d'y étudier la faisabilité de la production d'énergie bas carbone pour alimenter *Nour*, un nouveau projet de production d'hydrogène vert dont la capacité totale s'élèverait à 10 GW³⁸.

Cependant, même en prenant les récentes annonces qui semblent annoncer une nouvelle ère pour l'hydrogène vert, l'AIE estime que la filière est loin du compte. Si tous les projets recensés en septembre 2021 sont mis en œuvre, ils n'atteindraient qu'une production d'environ 2 MtH₂, à peine un tiers de ce que son scénario *Net Zero By 2050* préconise¹⁰. De plus, les investissements effectivement réalisés sont encore loin des 337 milliards de dollars annoncés par les acteurs publics et privés recensés par l'AIE. Selon BloombergNEF, seuls 1,5 milliard de dollars ont été investis en faveur de l'hydrogène bas carbone en 2020, dont la majorité (1,3 milliard) pour les véhicules à pile à combustible (voitures, bus...) et pour l'installation de bornes de recharge (**cf. dossier Transport**)³⁹.

L'hydrogène relance les espoirs de décarbonation de l'industrie lourde

Ainsi, même si les annonces et investissements réels sont encore loin du compte, force est de constater que la filière de l'hydrogène bas carbone se structure peu à peu. Cette nouvelle production suscite de fortes attentes de la part de secteurs dont la décarbonation peut sembler difficile. Secteurs les plus en vue, les transports comptent grandement sur l'hydrogène, que ce soit pour les voitures, les camions, les transports en commun, les trains ou même les avions, même si pour l'instant l'électrification bénéficie d'une bien plus grande attention (**cf. dossier Transport**).

Également, l'hydrogène fait son entrée dans les plans de décarbonation de secteurs moins scrutés par le grand public, mais dont les impasses pour réduire les émissions de gaz à effet de serre suscitent des inquiétudes : les industries lourdes. En effet, trois secteurs industriels représentent à eux seuls 65 % des émissions de GES liées à l'industrie : le ciment, la sidérurgie et la chimie. Ils n'utilisent environ qu'1 % d'énergie renouvelable pour leurs activités, une part négligeable comparée à la moyenne des 15 % de l'industrie globale⁸.

D'un côté, des industries qui reposent sur l'hydrogène peuvent pousser pour la décarbonation de sa production. Par exemple, la moitié des émissions liées à la fabrication d'ammoniac, un des débouchés les plus importants de l'hydrogène, est due à la phase de production de l'hydrogène utilisé. En Espagne, un projet pilote pour produire de l'ammoniac à partir d'hydrogène vert est censé commencer d'ici fin 2021, porté par Iberdrola et Fertiberia¹⁰.

En parallèle, la sidérurgie place dans l'hydrogène d'importants espoirs de décarbonation, selon une autre approche : l'hydrogène pourrait permettre de diminuer la consommation de charbon, combustible primordial pour la production d'acier, responsable d'une bonne partie des émissions du secteur. En Suède, les premières tonnes d'acier décarboné ont été produites au premier semestre 2021 par le projet Hybrit, qui regroupe le sidérurgiste SSAB, la compagnie minière LKAB et l'entreprise publique de production et de distribution d'électricité Vattenfall. Hybrit utilise un procédé permettant de fabriquer du minerai de fer pré-réduit (*Direct Reduced Iron* – DRI, qui peut ensuite être transformé en fer ou en acier dans un four électrique) en employant uniquement de l'hydrogène. L'utilisation d'un tel procédé combiné à de l'hydrogène « vert » réduirait considérablement les émissions de la fabrication d'acier. Plusieurs autres entreprises du fer et de l'acier, comme ArcelorMittal, comptent également développer ce procédé de production⁴⁰. L'entreprise de production de fer Fortescue compte produire 15 millions de tonnes d'hydrogène d'ici 2030, afin d'aider ses clients sidérurgistes à décarboner leur production d'acier (scope 3)⁴¹. D'autres projets pilotes pour décarboner la production de ciment ou de verre sont également en développement¹⁰.

En offrant de nouveaux débouchés à la production de gaz, l'hydrogène bleu ouvre également de nouvelles voies à une autre technologie de rupture qui avait perdu l'intérêt dans les sphères publique et entrepreneuriale : les technologies de CCUS. Et inversement, l'hydrogène pourrait bénéficier de ce déploiement : 1,8 GtCO₂ liées à la production d'hydrogène pourraient être capturées et stockées en 2050 (cf. **tendance CCUS**)⁴².



GRANDS ENSEIGNEMENTS

Les investissements dans l'hydrogène ont pris un nouvel élan en 2020, en vue de son application à des secteurs fortement émetteurs et qui restent aujourd'hui complexes à décarboner : les transports et l'industrie lourde. En quête de diversification dans les services bas carbone, les entreprises du *oil and gas* ont bien reçu le message et se sont rapidement positionnées sur le marché, tirant profit de leurs réseaux de pipelines et de leurs capacités d'investissement. L'hydrogène vert, produit à partir d'électricité renouvelable, demeure toutefois encore peu compétitif en comparaison avec son cousin bleu, produit de la combustion du gaz et du captage du CO₂, moins performant d'un point de vue climatique. Les annonces de financement de projets d'hydrogène bleu et vert et les partenariats entre filières industrielles ont ainsi fleuri au rythme des engagements gouvernementaux, laissant entrevoir un climat favorable à la croissance de cette technologie de rupture sur laquelle se fondent beaucoup d'espoir pour la décarbonation de l'économie.

BIBLIOGRAPHIE

RETOUR PAGE PRÉCÉDENTE

- 1 AIE (2019). [The Future of Hydrogen for G20. Seizing today's opportunities](#). Agence internationale de l'énergie
- 2 Zapantis, A. (04/2021). [Blue Hydrogen](#). Global CCS Institute
- 3 EDF (2021). [Low-carbon hydrogen](#) (page consultée le 21 juillet 2021).
- 4 AIE (2019). [The Future of Hydrogen](#). Agence internationale de l'énergie
- 5 Zapantis, A. (04/2021). [Blue Hydrogen](#). Global CCS Institute
- 6 IEA (2020). [Hydrogen in North-Western Europe. A vision towards 2030](#)
- 7 [Energy Policy Tracker](#) (page consultée le 21 juillet 2021)
- 8 REN21 (2021). [Renewables 2021. Global Status Report](#)
- 9 Ambrose, J. (17/08/2021). [Government reveals plans for £4bn hydrogen investment by 2030](#). The Guardian
- 10 AIE (2021). [Global Hydrogen Review 2021](#). Agence internationale de l'énergie
- 11 Ministry of Energy, Government of Chile. (2020). [NATIONAL GREEN HYDROGEN STRATEGY](#).
- 12 Natural Resources Canada. (2020). [Hydrogen Strategy for Canada](#).
- 13 De Souza, O. (15/06/2021). [Le Maroc et l'IRENA s'accordent sur le développement de l'hydrogène vert dans le pays](#). Hydrocarbures
- 14 Takouleu, J.-M. (13/08/2021). [NAMIBIE : Berlin soutient la recherche sur l'hydrogène vert avec 40 M€. Afrik 21](#)
- 15 Ministère du Pétrole, des Mines et de l'Énergie. (2021). [La société CWP et la Mauritanie signent un protocole d'accord pour le développement d'un projet d'hydrogène vert de 40 milliards de dollars américains](#). République islamique de Mauritanie
- 16 De Souza, O. (14/02/2021). [L'Afrique en position stratégique pour le développement de l'hydrogène vert](#). Hydrocarbures
- 17 Fuhrmann, M. (2020). [GERMANY'S NATIONAL HYDROGEN STRATEGY](#). Mitsui & Co
- 18 Nagashima, M. (2018). [Japan's Hydrogen strategy and its economic and geopolitical implications](#). IFRI
- 19 Wang, A., Van der Leun, K., Peters, D., Buseman, M. (2020). [European Hydrogen Backbone](#). Gas for Climate 2050
- 20 Shell (22/05/2019). [Carbon capture : the quest for cleaner energy](#). Shell
- 21 AIE (2020). [CCUS in clean energy transition](#). Agence internationale de l'énergie
- 22 Zapantis, A. (04/2021). [Blue Hydrogen](#). Global CCS Institute
- 23 Top 100 Canada's Biggest infrastructure project (2021). [Alberta Carbon Trunk Line](#) (page consultée le 21 juillet 2021)
- 24 AIE (06/2020). [Hydrogen projects database](#). Agence internationale de l'énergie
- 25 AIE (2020). [Hydrogen](#). Agence internationale de l'énergie
- 26 Szymczak, P. D. (12/02/2021). [Gas Industry Bets on Blue Hydrogen as a Transition Fuel for a Greener Europe](#). Journal of Petroleum Technology
- 27 Ratcliffe, V. (21/03/2021). [Aramco Aims to Partner With China on Blue Hydrogen, CEO Says](#). Bloomberg
- 28 Chang, J. (05/03/2021). [INSIGHT : Hydrogen may be Big Oil's low-carbon solution in global energy transition](#). Independent Commodity Intelligence Services
- 29 Kumagai, T. (25/03/2021). [Japan's ENEOS signs MOU with Aramco to develop hydrogen, ammonia supply chain](#). S&P Global
- 30 Jogmec (08/07/2021). [INPEX, JERA and JOGMEC Sign Joint Study Agreement with ADNOC on Exploring the Commercial Potential of Clean Ammonia Production Business in the United Arab Emirates](#). JOGMEC
- 31 Bloomberg (28/05/2021). [Racing for hydrogen : How gas giants are vying to stay relevant](#). Bloomberg
- 32 Howart, R., Jacobson, M. Z. (2021). [How green is blue hydrogen?](#) Energy Science & Engineering
- 33 AIE (2021). [World Energy Investment 2021](#). Agence internationale de l'énergie
- 34 Poncin, J.-L. (05/07/2021). [Hydrogène : cette raffinerie accueille le plus grand électrolyseur d'Europe](#). H2 Mobile
- 35 Radowitz, B. (28/04/2021). [BP and Iberdrola eye solar for record-sized Spanish green hydrogen project](#). Recharge
- 36 Total. (13/01/2021). [Total et Engie s'associent pour développer le plus grand site de production d'hydrogène vert sur électricité 100% renouvelable en France](#). Total
- 37 Takouleu, J.-M. (14/07/2021). [Egypt : Italy's ENY diversifies, will produce and export green hydrogen](#) Afrik21.
- 38 Takouleu, J.-M. (28/09/2021). [Mauritania : Chariot to produce and export green hydrogen through Nour project](#). Afrik21
- 39 BloombergNEF (2021). [Energy Transition Investment Trends. Tracking global investment in the low-carbon energy transition](#). BloombergNEF
- 40 ArcelorMittal (10/2020). [ArcelorMittal Europe produira de l'acier vert à partir de 2020](#).
- 41 Thornhill, J. (30/08/2021). [Iron Ore Giant Plans Carbon Targets for Customers in Green Pivot](#). Bloomberg
- 42 AIE (2021). [Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector](#). Agence internationale de l'énergie