Perspective énergétique mondiale 2023 : perspectives sur l'hydrogène

10 janvier 2024| Article

Malgré certaines incertitudes liées aux scénarios, la demande mondiale d'hydrogène propre devrait croître considérablement d'ici 2050, mais le développement des infrastructures et les progrès technologiques sont nécessaires pour répondre à la demande projetée.

Le Global Energy Perspective 2023 modélise les perspectives de demande et d'offre de matières premières énergétiques selon une trajectoire de 1,5°C, alignée sur l'Accord de Paris, et quatre scénarios ascendants de transition énergétique. Ces scénarios de transition énergétique examinent les résultats allant d'un réchauffement de 1,6 °C à 2,9 °C d'ici 2100 (descriptions des scénarios décrites ci-dessous dans l'encadré « À propos de la perspective énergétique mondiale 2023 »). Ces vastes scénarios esquissent une gamme de résultats basés sur diverses hypothèses sous-jacentes, par exemple sur le rythme du progrès technologique et le niveau d'application des politiques. Les scénarios sont façonnés par plus de 400 facteurs couvrant différents secteurs, technologies, politiques, coûts et carburants, et servent de base de données pour informer les décideurs sur les défis à relever pour permettre la transition énergétique. Dans cet article, nous explorons comment l'hydrogène pourrait contribuer à la décarbonisation du système énergétique, les incertitudes entourant le rôle futur de l'hydrogène et ce qu'il faudrait pour mettre en place une économie mondiale de l'hydrogène d'ici 2050.

La demande d'hydrogène propre devrait augmenter entre 125 et 585 Mtpa d'ici 2050

Aujourd'hui, la demande d'hydrogène est largement satisfaite par le reformage du méthane à la vapeur à partir de combustibles fossiles et tirée par la production et le raffinage d'engrais. Ces industries devraient être à la pointe de l'adoption de l'hydrogène bleu et vert jusqu'en 2030 dans les scénarios les plus lents, à mesure qu'elles orientent leurs opérations basées sur l'hydrogène vers l'hydrogène propre. En parallèle, de « nouvelles » applications émergentes – par exemple dans l'acier, la production de carburants synthétiques et le transport routier lourd – pourraient commencer à émerger dans des scénarios plus rapides.

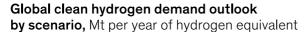
La quasi-totalité de l'hydrogène consommé aujourd'hui est de l'hydrogène gris (environ 90 millions de tonnes ^[1] par an [Mtpa]). Cependant, la demande d'hydrogène gris devrait diminuer à mesure que la demande d'hydrogène propre augmente et que les coûts des molécules vertes deviendront finalement plus compétitifs. ^[2] D'ici 2050, la demande en hydrogène propre pourrait représenter jusqu'à 73 à 100 % (125 à 585 Mtpa) de la demande totale en hydrogène, avec seulement moins de 1 à 50 Mtpa de demande satisfaite par l'hydrogène gris, selon le scénario.

Après 2025, presque toute la nouvelle production d'hydrogène mise en ligne devrait être de l'hydrogène propre. Cela coïncide avec le début de l'élimination progressive attendue de l'hydrogène gris, motivée par la compétitivité croissante des coûts de l'hydrogène propre et par les engagements de décarbonation. Jusqu'en 2030, l'adoption de l'hydrogène propre devrait être stimulée par le passage des applications existantes de l'hydrogène gris à l'hydrogène bleu et vert, mais entre 2030 et 2040, l'adoption de l'hydrogène dans de nouvelles applications sans demande existante devrait entraîner une augmentation de la demande d'hydrogène propre.

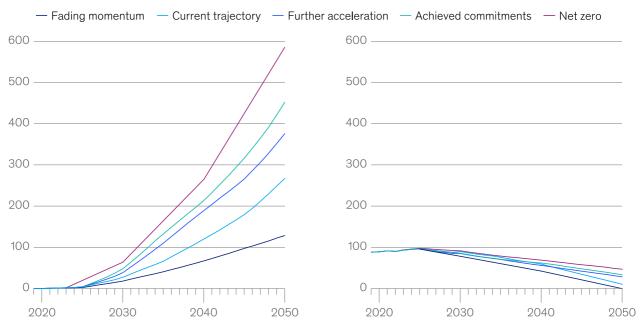
Après 2040, les engagements des secteurs privé et public devraient stimuler l'adoption de l'hydrogène propre et des carburants à base d'hydrogène dans les applications émergentes dans les scénarios d'accélération supplémentaire et d'engagements atteints. Les mécanismes potentiels qui seraient nécessaires pour soutenir la croissance de la demande d'hydrogène et de dérivés de l'hydrogène dans ces applications comprennent la mise en œuvre ou l'augmentation de la tarification du CO $_2$, des quotas sur les carburants durables dans l'aviation ou des objectifs de réduction du CO $_2$ dans le transport maritime. D'un autre côté, dans les scénarios Trajectoire actuelle et Fading Momentum, l'adoption de l'hydrogène devrait être stimulée par la poursuite de la baisse actuelle des coûts et par la croissance sous-jacente de certains marchés d'engrais et de produits chimiques qui utilisent aujourd'hui l'hydrogène, avec de nouvelles politiques limitées. soutien.

Certaines zones géographiques, comme l'Union européenne et le Royaume-Uni, devraient éliminer complètement l'hydrogène gris d'ici 2050 dans tous les scénarios, à l'exception du Fading Momentum. L'hydrogène gris jouera probablement un rôle plus important dans le scénario Fading Momentum que dans les scénarios de transition énergétique plus rapide, en raison d'une adoption plus lente de l'hydrogène propre dans les nouveaux secteurs. Dans ces secteurs, la consommation d'hydrogène propre devrait être limitée jusqu'en 2050.

Across scenarios, clean hydrogen demand is expected to reach 125–585 million tons per year by 2050.



Global grey hydrogen demand outlook by scenario, Mt per year of hydrogen equivalent



Scenario descriptions

— Net Zero

Net-zero commitments achieved by all countries by 2050, through ambitious policies across geographies

Achieved Commitments

Net-zero commitments achieved by leading countries through purposeful policies, followers transition at slower pace

Further Acceleration

Further acceleration of transition driven by country-specific commitments, though financial and technological restraints remain

Current trajectory

Current trajectory of renewables and electrolyzers costs decline continues, however currently active policies remain insufficient to close gap to ambition

Fading Momentum

Delayed uptake of FCEV in road transport as well as uptake of alternative fuels in aviation drives lower hydrogen demand

Source: McKinsey Energy Solutions' Global Energy Perspective 2023

McKinsey & Company

L'industrie devrait être à l'origine de la majorité de l'utilisation de l'hydrogène propre jusqu'en 2030, suivie d'une adoption plus large dans de nouvelles applications d'ici 2050.

Les applications avec une demande existante représenteront probablement la majorité de la demande en hydrogène propre tout au long des années 2020, ce qui pourrait entraîner une augmentation de la part de l'hydrogène propre dans la demande totale en hydrogène de moins de 1 % aujourd'hui à environ 30 % d'ici 2030 dans le scénario d'accélération supplémentaire.

D'ici 2040, l'hydrogène propre pourrait jouer un rôle plus important dans les nouvelles applications, en particulier dans la mobilité, qui devrait devenir le plus grand « nouveau venu » pour la demande d'hydrogène propre d'ici

2040 dans le scénario d'accélération supplémentaire. Les applications pourraient aller des véhicules électriques à pile à combustible pour les camions lourds longue distance au kérosène synthétique dans l'aviation. Le deuxième nouveau venu en importance devrait être l'hydrogène utilisé dans le chauffage (principalement industriel), remplaçant le gaz naturel. L'absorption combinée d'hydrogène propre dans les applications existantes et les applications émergentes pourrait porter la part de l'hydrogène propre dans la demande totale à 75 % d'ici 2040.

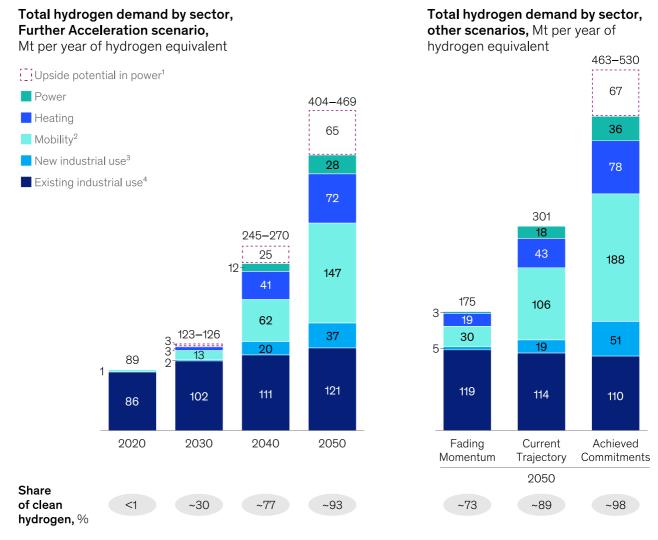
D'ici 2050, dans le scénario d'accélération supplémentaire, les applications de mobilité devraient rester les principaux moteurs de l'adoption d'hydrogène propre, le transport routier représentant environ 80 Mtpa et l'aviation environ 50 Mtpa, les 15 Mtpa restants provenant du transport maritime. Les applications industrielles et le chauffage existants devraient favoriser l'adoption d'hydrogène propre, ce qui pourrait conduire à ce que l'hydrogène propre représente 95 % de la demande totale d'hydrogène en 2050.

Toutefois, des incertitudes subsistent quant à la croissance de la demande. Par exemple, l'électricité pourrait entraîner une hausse de la demande supplémentaire comprise entre 60 et 70 Mtpa d'ici 2050, en plus de la demande projetée dans le scénario d'accélération supplémentaire. Cela pourrait se produire si les turbines à hydrogène ou les piles à combustible stationnaires s'avéraient plus compétitives ou bénéficiaient d'un plus grand soutien public que les technologies alternatives pour la décarbonisation du dernier kilomètre du système énergétique, telles que les technologies de stockage d'énergie de longue durée et le captage, l'utilisation et le stockage du carbone. (CCUS).

Dans le scénario Fading Momentum, l'utilisation finale déjà existante de l'hydrogène dans la production d'engrais devrait stimuler la consommation bien au-delà de 2030, ce qui correspond à une croissance totale plus faible.

Le seul secteur qui ne devrait pas connaître d'augmentation de la demande totale d'hydrogène en 2050 par rapport à aujourd'hui est le raffinage, avec une demande qui devrait culminer à la fin des années 2020 ou au début des années 2030, selon le scénario, tirée par une baisse de la demande de pétrole dans tous les scénarios.

Industry is expected to be the biggest driver of clean hydrogen demand until 2030; mobility could overtake industry by 2050.



Note: Figures may not sum to totals, because of rounding.

McKinsey & Company

L'adoption de nouvelles applications dépend de l'environnement d'exploitation, du développement des infrastructures et de la compétitivité relative.

À l'avenir, les programmes de décarbonation des gouvernements et des entreprises devraient favoriser l'adoption de l'hydrogène dans de nouvelles applications, ainsi que la décarbonation des applications existantes de l'hydrogène gris. Cependant, dans la plupart des régions, il existe une grande incertitude quant à l'absorption prévue de l'hydrogène dans ces nouvelles applications selon les scénarios.

L'incertitude entourant la demande d'hydrogène dans les applications émergentes provient d'une combinaison de facteurs, notamment le manque de clarté du soutien gouvernemental, le développement d'infrastructures habilitantes et l'évolution de la dynamique concurrentielle avec d'autres technologies de décarbonation. Par

¹Upside potential in power estimated to account for 0-1% in 2035 and 1-3% in 2050 of the gross generation in different regions. Actual development could be affected by different drivers such as cost reductions, government targets, support schemes, etc.

²Including maritime, aviation, and trucking. ³Iron and steel production via H2-DRI-EAF route.

⁴Refining and chemicals (ammonia and methanol production).

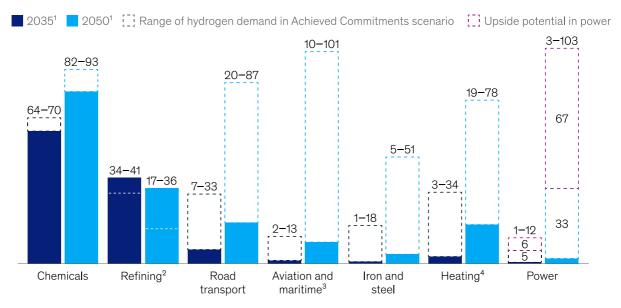
Source: McKinsey Energy Solutions' Global Energy Perspective 2023

exemple, le rôle de l'hydrogène dans la décarbonisation de l'aviation pourrait dépendre du soutien du gouvernement, ainsi que de la dynamique du marché et de la concurrence. Premièrement, des quotas de carburant d'aviation durable (SAF) sont nécessaires dans toutes les zones géographiques pour favoriser le passage du kérosène à base de combustible fossile à des alternatives propres. Deuxièmement, les carburants synthétiques à base d'hydrogène devraient s'avérer compétitifs par rapport aux principales alternatives SAF, par exemple le biokérosène, soit sur la base des coûts, soit sur la base des contraintes de disponibilité des matières premières nécessaires à la production du biokérosène.

De même, il existe une incertitude quant au passage de l'hydrogène gris à l'hydrogène propre. Des mandats actifs, tels que les prix du CO 2 et les subventions, seront probablement nécessaires pour faciliter la décarbonation de la demande existante en hydrogène, car le changement ne sera probablement pas attractif sur la seule base économique.

There is a large range of uncertainty in the projected uptake of hydrogen in emerging sectors.

Global hydrogen demand by sector, range between Fading Momentum to Achieved Commitments scenarios, Mt per year of hydrogen equivalent



Fading Momentum scenario.

²Includes conventional fuels refining and biofuels hydrogenation and refining.

Source: McKinsey Energy Solutions' Global Energy Perspective 2023

McKinsey & Company

La mise à l'échelle des infrastructures et les progrès technologiques pourraient être essentiels

Dans les secteurs clés, le déploiement rapide d'infrastructures tout au long de la chaîne d'approvisionnement devrait être nécessaire pour répondre à la demande d'hydrogène propre.

Plusieurs outils clés - principalement des infrastructures physiques - devraient être déployés d'ici 2050 pour faciliter la future économie de l'hydrogène. Dans le scénario des engagements atteints, plus de 163 000 stations de ravitaillement pour camions seraient nécessaires dans le monde, ainsi qu'un réseau de plus de 40 000 kilomètres de conduites d'hydrogène rien qu'en Europe.

³Aviation and maritime include direct use of hydrogen and hydrogen-derived synfuels including kerosene, diesel, methanol, gasoline, and ammonia. The category also includes some hydrogen-derived synfuels in road transport.

Includes hydrogen demand for heating in other industry and buildings

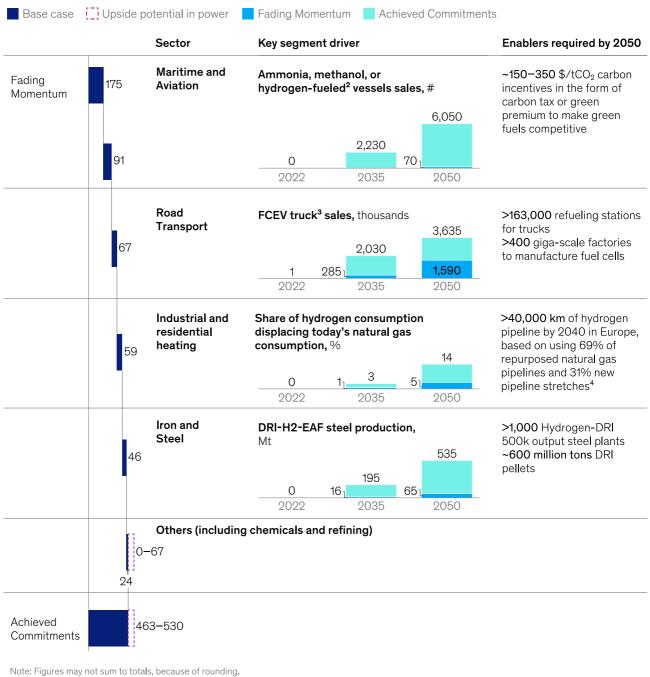
Des avancées technologiques pourraient également être nécessaires pour garantir l'adoption de l'hydrogène dans des secteurs où la technologie de l'hydrogène n'est pas encore mature, comme la poursuite du développement des piles à combustible pour les véhicules lourds et les navires.

Une coordination entre le gouvernement et le secteur privé pourrait être nécessaire pour garantir que l'infrastructure nécessaire est en place pour répondre à la demande d'hydrogène au rythme nécessaire pour respecter les engagements de décarbonation et avec une analyse de rentabilisation attrayante.

L'ampleur de la croissance et des progrès nécessaires à l'établissement d'une économie de l'hydrogène n'est pas sans précédent : l'adoption historique du gaz naturel dans l'Union européenne depuis les années 1960 et 1970 montre qu'il est possible de modifier rapidement un système énergétique établi si la compétitivité et le soutien nécessaires sont mis en place. sont en place.

The future hydrogen economy will likely require infrastructure scale up and tech advancements to meet demand.

Hydrogen demand, range between scenarios¹ in 2050, Mt per year of hydrogen equivalent



¹Fading Momentum and Achieved Commitments.

McKinsey & Company

L'Asie devrait rester la région ayant la plus grande demande d'hydrogène jusqu'en 2050

Malgré les incertitudes concernant la demande régionale et sectorielle, l'Asie devrait rester le plus grand consommateur d'hydrogène selon les scénarios, en grande partie tirée par la demande de produits chimiques qui existent déjà aujourd'hui et, dans une moindre mesure, par les secteurs des transports, du fer et de l'acier en Chine

²Maritime propulsion technology of fuel cell (PEM) or hydrogen derivatives (ammonia or methanol).

³Includes LCV and trucks (medium duty and heavy duty).

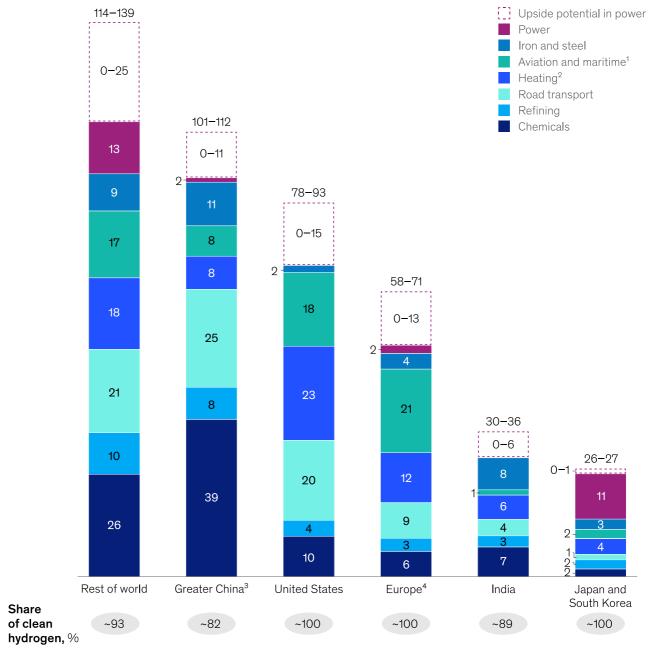
Source: McKinsey Energy Solutions' Global Energy Perspective 2023; McKinsey Hydrogen Insight

et Inde. Au Japon et en Corée du Sud, une part importante de la demande en hydrogène devrait provenir de la production d'électricité, car l'ammoniac et l'hydrogène sont respectivement mélangés dans les centrales au charbon et au gaz existantes. Comme l'Asie ne produira probablement pas suffisamment d'hydrogène pour répondre à sa demande croissante, la région pourrait s'appuyer sur des importations en provenance d'Océanie ou du Moyen-Orient, par exemple.

En Europe et aux États-Unis, le secteur chimique devrait rester un moteur important de la demande d'hydrogène, mais de nouvelles applications dans des secteurs tels que l'acier et la production de carburants synthétiques pour l'aviation, le transport maritime et le transport routier lourd devraient également contribuer de manière significative à la demande. croissance.

By region, APAC is projected to have the largest hydrogen demand in 2050, driven by demand in the chemicals sector from China and India.

Hydrogen demand for selected regions, 2050, Further Acceleration scenario, Mt per year of hydrogen equivalent



Note: Figures may not sum to totals, because of rounding.

McKinsey & Company

La production d'hydrogène vert devrait être répartie dans toutes les régions, tandis que la production d'hydrogène bleu est spécifique à la géographie.

Aviation and maritime include direct use of hydrogen and hydrogen-derived synfuels including kerosene, diesel, methanol, gasoline, and ammonia. The category also includes some hydrogen derived synfuels in road transport. ²Includes hydrogen demand for heating in other industry and buildings.

Includes China, Hong Kong, and Taiwan.

Includes EU27, Norway, and United Kingdom.

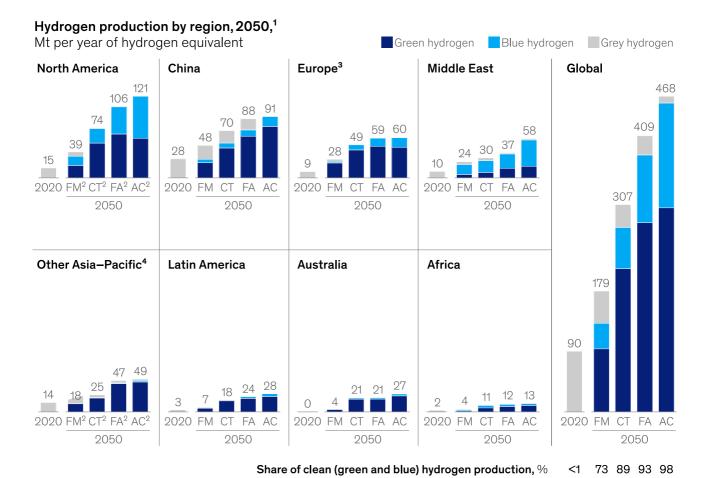
Source: McKinsey Energy Solutions' Global Energy Perspective 2023

D'ici 2050, l'hydrogène vert devrait dominer le mix d'approvisionnement mondial, avec une part comprise entre 50 et 65 % selon les scénarios, car les réductions des coûts des énergies renouvelables et des électrolyseurs rendent cette voie de production plus compétitive. L'hydrogène bleu devrait représenter la deuxième plus grande part de l'approvisionnement, entre 20 et 35 %.

Le rapport entre la production d'hydrogène bleu et celle d'hydrogène vert devrait différer considérablement selon les régions, principalement en raison de l'évolution des facteurs de coûts. La production d'hydrogène bleu devrait être concentrée dans les régions disposant de gaz naturel et de CCUS à des coûts compétitifs, comme le Moyen-Orient et l'Amérique du Nord. D'ici 2050, la production d'hydrogène bleu pourrait nécessiter jusqu'à environ 500 milliards de mètres cubes de gaz naturel (entre 10 et 15 % de la demande mondiale en gaz naturel dans le scénario d'accélération supplémentaire) et une capacité de captage et de stockage de 750 à 1000 mégatonnes de CO 2...

La production d'hydrogène vert devrait avoir une part plus élevée dans les régions disposant de ressources renouvelables abondantes et compétitives, comme l'Australie et la péninsule ibérique. La production d'hydrogène vert pourrait potentiellement être limitée par le manque d'énergie renouvelable. À l'échelle mondiale, environ un quart de la production d'électricité renouvelable (environ 14 000 térawattheures) pourrait être nécessaire pour produire l'hydrogène vert nécessaire d'ici 2050 dans le scénario d'accélération supplémentaire. Parmi les autres goulots d'étranglement potentiels à surmonter pour parvenir à une forte adoption de l'hydrogène vert figurent les investissements à grande échelle et le déploiement de la fabrication d'électrolyseurs à grande échelle, la compétitivité des coûts étant fortement dépendante de ce dernier.

Green hydrogen supply uptake is expected to be similar across all regions, while blue production will be specific to certain geographies.



Note: Upside for power not considered,

Includes supply for exports.

²FM = Fading Momentum; CT = Current Trajectory; FA = Further Acceleration; AC = Achieved Commitments.

Includes EU27, Norway, and United Kingdom.
Includes economic regions: ASEAN, Hong Kong, Other Asia and India, and Taiwan.

Source: McKinsey Energy Solutions' Global Energy Perspective 2023

La compétitivité des coûts de l'hydrogène propre devrait varier selon les régions

Les coûts de production d'hydrogène propre devraient baisser considérablement d'ici 2030-50, avec de grandes différences selon les régions selon les scénarios explorés. Les écarts de coûts entre les régions pourraient entraîner une inadéquation accrue entre les centres d'offre et de demande et conduire ainsi au développement de pôles d'exportation majeurs d'hydrogène et de dérivés de l'hydrogène.

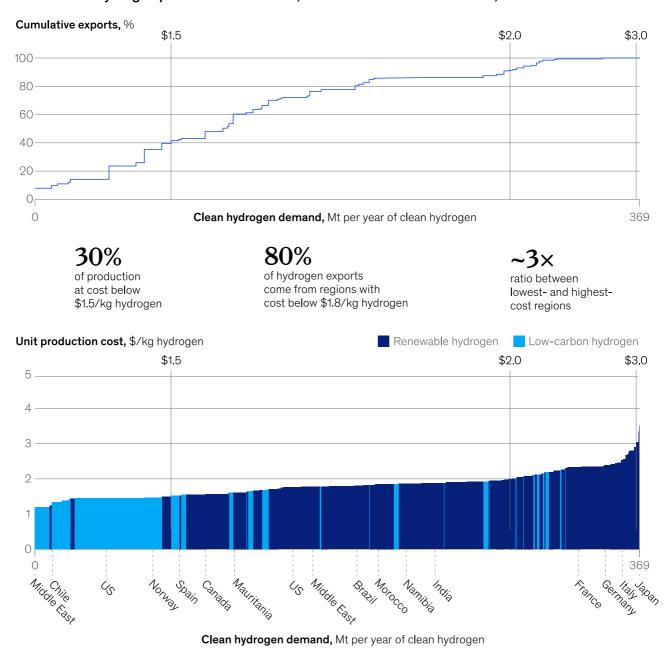
Les régions disposant de ressources en gaz naturel et en CCUS compétitives, comme le Moyen-Orient, la Norvège et les États-Unis, devraient avoir la compétitivité-coût la plus élevée et pourraient potentiellement représenter 30 pour cent des exportations à des coûts de production inférieurs à 1,5 \$/kg d'ici 2050.

Les régions ayant accès à une énergie renouvelable à faible coût, comme l'Australie ou l'Afrique du Nord, pourraient représenter 60 pour cent supplémentaires des exportations à des coûts de production compris entre 1,5 et 2 dollars/kg.

Le commerce croissant de l'hydrogène pourrait permettre son adoption dans les pays qui ont de fortes ambitions de décarbonation mais qui manquent des ressources énergétiques nécessaires à la production d'hydrogène propre, comme certaines parties de l'Europe, ainsi que le Japon et la Corée du Sud.

By 2050, regions with production costs under \$1.8/kg could export large volumes of hydrogen and hydrogen derivatives.

Global clean hydrogen production cost curve, 1 Further Acceleration scenario, 2050



Note that countries shown are representative of producers rather than being exhaustive, Source: McKinsey Energy Solutions' Global Energy Perspective 2023; McKinsey Global Hydrogen Flow Model in collaboration with Hydrogen Council

McKinsey & Company

Un commerce mondial de l'hydrogène pourrait émerger pour relier les centres de demande aux pôles d'exportation riches en ressources

Les principaux flux commerciaux d'hydrogène devraient évoluer pour relier les pôles d'exportation disposant de ressources favorables en énergie renouvelable ou en gaz naturel à deux principales régions de demande : l'Asie et l'Europe.

L'Europe pourrait répondre à l'essentiel de sa demande à l'intérieur de la région, en important des pays où les prix du gaz sont bas ou où l'énergie hydroélectrique et solaire est abondante, comme la péninsule ibérique et les pays

nordiques. Le reste pourrait provenir du Moyen-Orient, d'Afrique du Nord et d'Amérique du Nord. L'Asie pourrait s'approvisionner en hydrogène auprès de pays et de régions comme l'Australie, l'Amérique latine, le Moyen-Orient et l'Amérique du Nord.

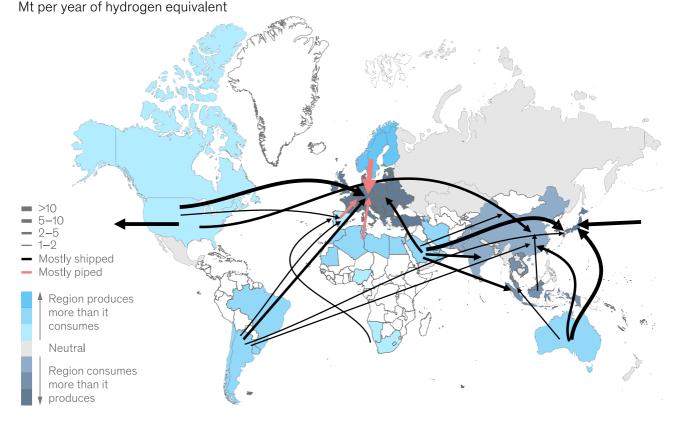
Les régions disposant de voies d'accès favorables au marché – soit en produisant et en expédiant des produits dérivés, soit en construisant un réseau stratégique de pipelines d'hydrogène vers les acheteurs, en réutilisant potentiellement les infrastructures de gaz naturel existantes – pourraient également devenir des centres de production.

Même si les principaux flux commerciaux en Europe dépendront probablement fortement des pipelines, le transport maritime pourrait s'avérer essentiel pour permettre le commerce extérieur. Le transport de l'hydrogène pourrait être accéléré en convertissant l'hydrogène en carburants de synthèse (tels que l'ammoniac ou le méthanol) dans les centres d'exportation. Les expéditions d'hydrogène liquide pourraient être un moyen de permettre le commerce mondial de l'hydrogène après 2030, augmentant potentiellement jusqu'à environ 20 Mtpa échangées en 2050 dans les scénarios les plus rapides.

Bien que cette accélération projetée du commerce mondial de l'hydrogène soit ambitieuse, elle a un précédent historique : une croissance similaire a été observée au cours des 25 premières années de développement du GNL.

By 2050, extensive and deep trade links could connect the globe.

Major flows of hydrogen and derivatives 2050 - Further Acceleration,



Note: The boundaries shown and the designations used on this map do not imply official endorsement or acceptance by McKinsey & Company, Source: McKinsey Global Hydrogen Flow Model

McKinsey & Company

L'hydrogène est un vecteur énergétique polyvalent qui a le potentiel de jouer un rôle important dans la décarbonation du système énergétique. Les technologies et les

carburants basés sur l'hydrogène peuvent offrir des alternatives à faible émission de carbone dans tous les secteurs. Cependant, à l'heure actuelle, il existe encore un large éventail de voies possibles pour l'hydrogène jusqu'en 2050, tant en termes de demande que d'offre d'hydrogène, ce qui crée une certaine incertitude pour les organisations qui cherchent à entrer sur le marché de l'hydrogène ou à étendre leurs opérations.

Le soutien du gouvernement et du secteur privé devrait fortement affecter l'adoption de l'hydrogène. Dans le même temps, les futurs développements technologiques d'alternatives (par exemple, fours électriques à haute température, stockage d'énergie de longue durée et disponibilité de matières premières d'origine biologique) pourraient également créer une concurrence dans certaines des nouvelles applications de l'hydrogène et des carburants à base d'hydrogène. Les sociétés d'hydrogène pourraient bénéficier d'une surveillance étroite des indicateurs politiques, du développement d'infrastructures permettant l'hydrogène et de la compétitivité-coût des technologies basées sur l'hydrogène par rapport à d'autres alternatives à faible émission de carbone, alors qu'elles tracent leur voie.

Pour demander l'accès aux données qui sous-tendent notre perspective énergétique mondiale ou pour parler à notre équipe de rapports ou d'analyses de marché sur mesure, veuillez nous contacter.

À PROPOS DES AUTEURS)

Chiara Gulli est responsable de solutions au bureau d'Amsterdam de McKinsey; <u>Bernd Heid</u> est associé principal au bureau de New York, où Maurits Waardenburg est associé; <u>Jesse</u>

<u>Noffsinger</u> est associé au bureau de Seattle; et <u>Maurits Waardenburg</u> est associé du bureau de Bruxelles.

Les auteurs souhaitent remercier Cristina Blajin, Alison Hightman, Albertine Potter van Loon et Ole Rolser pour leurs contributions à cet article.

EXPLOREZ UNE CARRIÈRE AVEC NOUS

Rechercher des ouvertures