

The **Making Mission Possible** Series

Faire de l'économie de l'hydrogène une réalité:

Accélérer le développement de l'hydrogène propre dans une économie électrifiée

April 2021

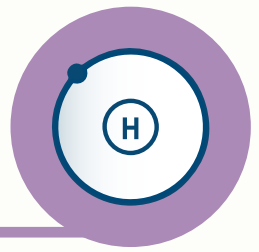
Version 1.0

Résumé



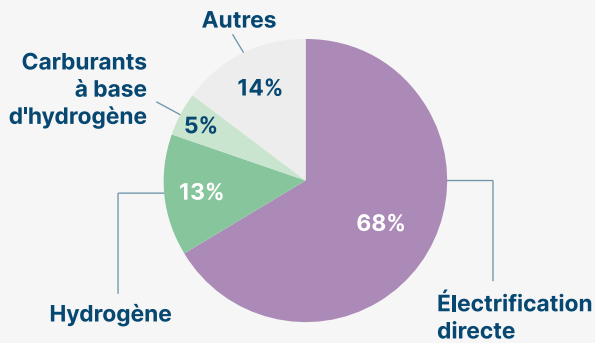
Energy
Transitions
Commission

FAIRE DE L'ÉCONOMIE DE L'HYDROGÈNE UNE RÉALITÉ



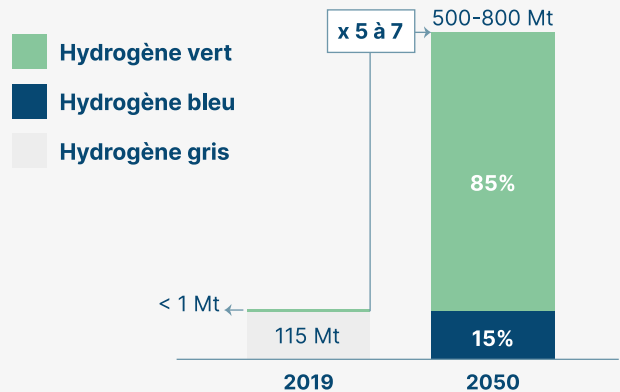
L'HYDROGÈNE : LE DEUXIÈME VECTEUR DE DÉCARBONATION

Demande d'énergie finale (scénario indicatif ETC 2050)



UNE MULTIPLICATION PAR 5 À 7 DE LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE

Production d'hydrogène
Mégatonnes d'hydrogène / an

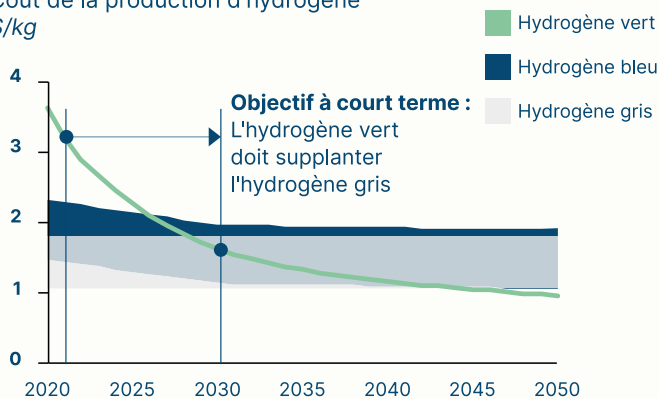


Comment y parvenir ?

DANS LE MÊME TEMPS

ACCROÎTRE LA PRODUCTION POUR RENDRE L'HYDROGÈNE VERT COMPÉTITIF

Coût de la production d'hydrogène
\$/kg



POUR DÉBLOQUER LES INVESTISSEMENTS DANS L'APPROVISIONNEMENT EN HYDROGÈNE

Total des investissements (en Mrds \$)



ACCÉLÉRER LA CROISSANCE DE LA DEMANDE EN HYDROGÈNE PROPRE

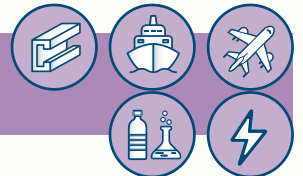
Passer du gris au zéro-carbone

Raffinage / Ammoniaque / Méthanol



Développements nécessaires mais larges besoins à long terme

Acier / Transport maritime / Aviation / Produits chimiques / Électricité



Possible solution de transition

Co-combustion / Mélange au gaz



Utilisations possibles si l'électrification ne domine pas

Transport routier / Chauffage résidentiel / Processus à haute température



DÉVELOPPER LES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT ET DE STOCKAGE

Pôles industriels

Les premiers usages se développeront autour de pôles industriels dotés d'infrastructures partagées pour la production, la distribution et le stockage de l'hydrogène.

Réseaux inter-régionaux

Le commerce international sera principalement alimenté par des pipelines inter-régionaux ou par le transport maritime d'ammoniaque (pour une utilisation finale sous forme d'ammoniaque).





Dans le cadre de l'accord de Paris sur le climat, le monde s'est engagé à limiter le réchauffement climatique à moins de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels, tout en s'efforçant de rester en dessous des 1,5°C. Pour respecter cet engagement, le monde doit ramener les émissions de CO₂ à zéro d'ici le milieu du siècle. L'Energy Transitions Commission (ETC) a décrit dans plusieurs rapports comment y parvenir¹. L'électrification propre doit être au cœur de la stratégie mondiale de décarbonation – électrifier autant que possible tout en décarbonant totalement l'approvisionnement d'électricité. Le rapport de l'ETC sur l'électrification zéro-carbone, publié parallèlement au présent rapport, décrit comment relever ce défi.²

Cependant, il existe certains secteurs où l'électrification directe est actuellement impossible ou représenterait un coût prohibitif. L'hydrogène jouera un rôle clé dans la décarbonation de ces secteurs. Dans le cadre de la production d'acier, l'hydrogène peut remplacer le charbon comme source d'énergie et agent réducteur ; sous forme d'ammoniaque, il pourrait décarboner le transport maritime à longue distance ; et il est susceptible de jouer un rôle majeur comme mécanisme de stockage dans le secteur de l'électricité. Dans ces secteurs et dans des nombreux autres, la consommation totale d'hydrogène dans le monde pourrait passer de 115 Mt par an aujourd'hui à environ 500 à 800 Mt d'ici le milieu du siècle, l'hydrogène (et les carburants qui en sont dérivés) représentant alors environ 15 à 20 % de la demande finale d'énergie, en plus des près de 70 % fournis par la consommation directe d'électricité (figure A).

Tout cet hydrogène doit être produit de manière propre, soit sans émissions de carbone par l'électrolyse de l'eau utilisant une électricité zéro-carbone («hydrogène vert»), soit par reformage du gaz naturel combiné à la capture du carbone, ce qui permet de produire un hydrogène à faibles émissions de carbone («hydrogène bleu») si le déploiement se fait de manière à obtenir un captage quasi total du CO₂ et de très faibles fuites de méthane. L'hydrogène bleu sera souvent rentable au cours des premières années de la transition, en particulier lorsque la production existante «d'hydrogène gris» peut être adaptée et équipée de technologie de capture du carbone. Néanmoins, à long terme, l'hydrogène vert constituera très probablement l'option la moins chère dans la majeure partie du monde, avec une réduction spectaculaire des coûts à moins de 2 \$/kg possible dans les années 2020. Cette production d'hydrogène vert générera à son tour une très forte demande d'électricité, augmentant de 30 000 TWh la demande totale d'électricité zéro-carbone dans le monde.

Ce rapport présente donc :

- Le rôle de l'hydrogène propre dans une économie zéro-carbone massivement électrifiée;
- Comment développer l'approvisionnement et la demande d'hydrogène propre à grande échelle;
- Les actions essentielles pour l'industrie et les pouvoirs publics dans les années 2020.

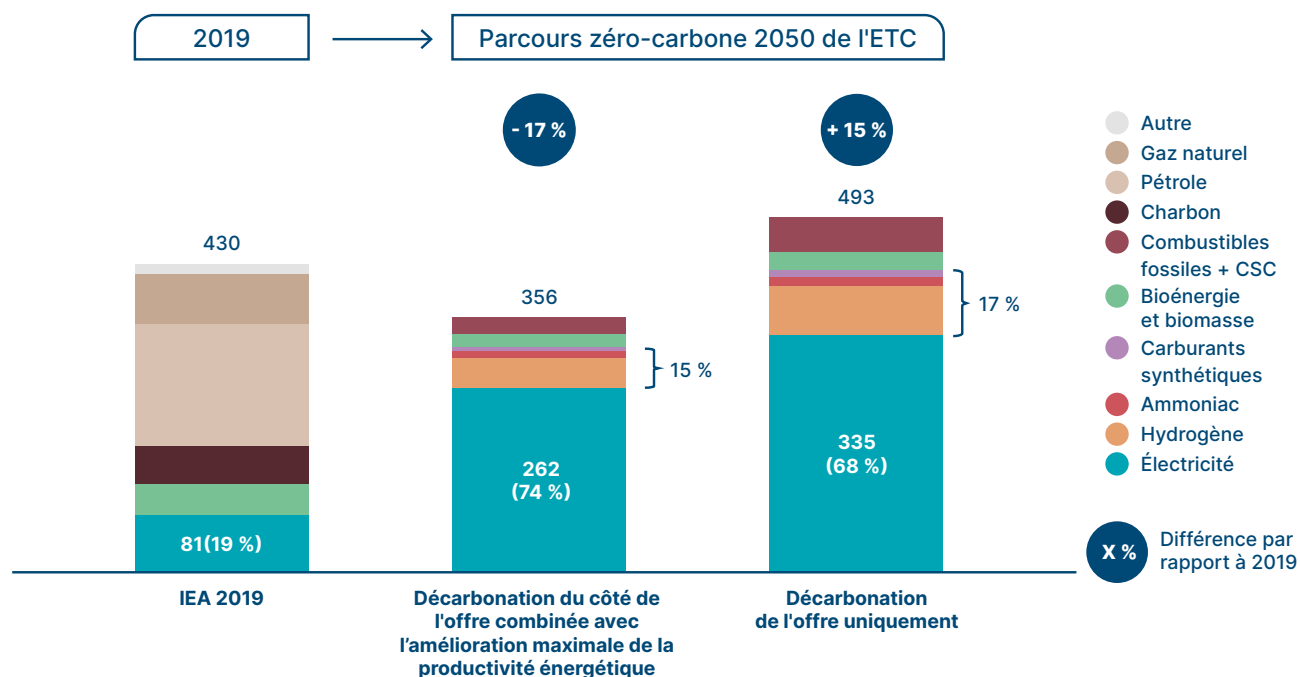
¹ Cela inclut (de manière non exhaustive) : ETC (2020): *Making Mission Possible: Delivering a Net-Zero Economy*; ETC (2017), *Mission Possible: Reaching net-zero carbon emissions from harder-to-abate sectors*

² ETC (2021), *Making Clean Electrification Possible: 30 years to electrify the global economy*

Mélange énergétique final dans une économie zéro-carbone: l'électricité deviendra le vecteur énergétique dominant, complété par l'hydrogène et les carburants qui en sont dérivés

Demande d'énergie finale
EJ/an

SCÉNARIO ILLUSTRATIF



SOURCE : analyse SYSTÉMIQ pour Energy Transitions Commission (2020) ; IEA (2019), *World Energy Outlook*

I. Une vision pour 2050 : Le rôle de l'hydrogène dans une économie zéro-carbone massivement électrifiée

En 2018, environ 115 Mt d'hydrogène étaient utilisées dans le monde, dont 70 Mt produites principalement à partir de gaz naturel (71 %) et de charbon (27 %)³. Cette production a entraîné environ 830 Mt d'émissions de CO₂, soit environ 2,2 % du total mondial lié à l'énergie. Au cours des 30 prochaines années, l'utilisation de l'hydrogène devrait augmenter de façon spectaculaire, et la production d'hydrogène doit devenir zéro-carbone pour que l'hydrogène propre puisse être utilisé comme solution de décarbonation dans les applications existantes ainsi que dans de multiples nouvelles applications.

Croissance potentielle de la demande

Applications probables par secteur

Les utilisations potentielles de l'hydrogène dans une économie zéro-carbone peuvent être classées en quatre groupes :

- Les usages existants de l'hydrogène, où la production d'hydrogène propre devrait remplacer la production « grise » aussi rapidement que possible (raffinage du pétrole brut, production d'ammoniaque et de méthanol).
- Les secteurs dans lesquels l'utilisation de l'hydrogène à long terme est très probable et pourrait atteindre des volumes importants, mais où elle augmentera lentement car les technologies nécessaires sont encore en cours de développement et que les équipements doivent être remplacés. Il s'agit notamment de la production d'acier, du transport maritime longue distance et peut-être de l'aviation. Il est également fort probable que l'hydrogène soit largement utilisé pour le stockage d'énergie saisonnier dans les systèmes électriques.

³ La différence de 45 Mt provient de l'hydrogène produit comme sous-produit dans un certain nombre de procédés industriels tels que le reformage catalytique du naphte, l'électrolyse du chlore et de la soude, et le vapocraquage du propane. Source : IEA (2019), *The future of hydrogen*

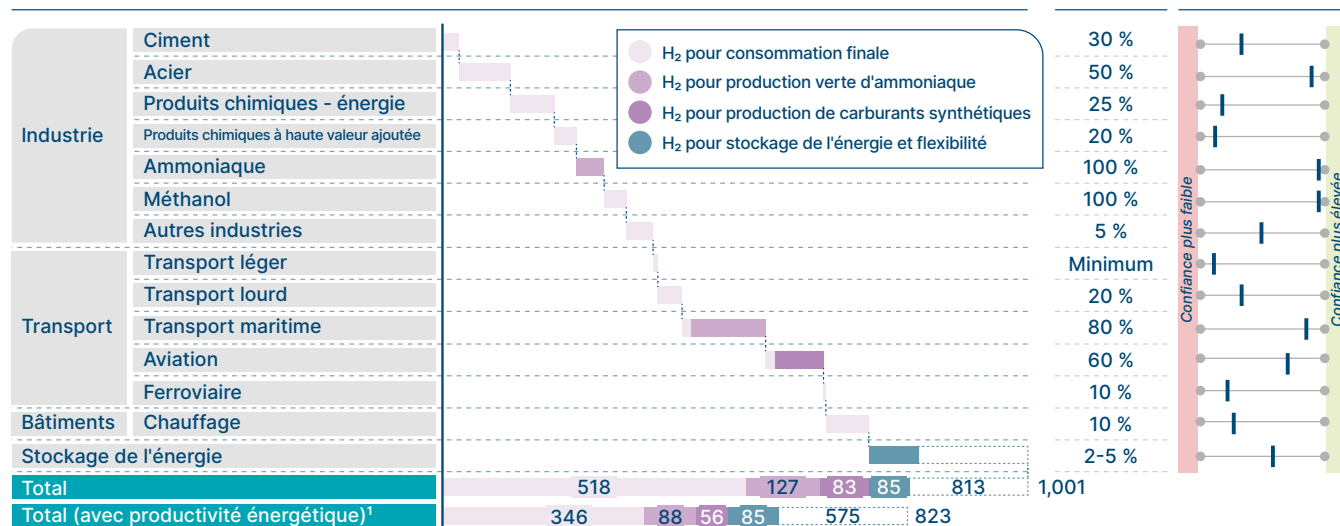
- Les opportunités potentielles à court terme, mais transitoires, susceptibles de permettre des réductions d'émissions mais qui ne pourront pas atteindre zéro émission et qui devront donc finalement être éliminées (par exemple, la co-combustion d'hydrogène avec du gaz naturel dans la production d'électricité).
- Les utilisations possibles, mais pour lesquelles les avantages relatifs de l'hydrogène par rapport aux autres options de décarbonation ne sont pas encore clairs. Il s'agit notamment du transport routier lourd, du chauffage résidentiel, de l'hydrogène pour la production d'électricité de secours sur certains sites à forte consommation d'énergie (par exemple, les centres de données) et de la production de matières plastiques.

Un scénario illustratif

Si tous les cas d'utilisation potentiels de l'hydrogène se concrétisent, la demande totale pourrait atteindre 1000 Mt d'ici 2050, mais une estimation raisonnable des probabilités par secteur implique une fourchette d'environ 500 à 800 Mt (figure B). Cela signifie que l'hydrogène (et ses dérivés) pourrait représenter environ 15 à 20 % de la demande finale d'énergie, en plus des quelque 70 % satisfaits par l'électrification directe. Nos estimations suggèrent le même ordre de grandeur que les scénarios récents produits par le Conseil de l'Hydrogène et BloombergNEF, mais avec un mix sectoriel différent. Les stratégies gouvernementales et nationales pour l'hydrogène doivent donc partir du principe que l'hydrogène jouera un rôle majeur dans une économie zéro-carbone, même si la répartition précise des technologies de décarbonation par secteur est incertain.

L'hydrogène propre jouera un rôle de plus en plus important dans l'économie pendant que le monde se dirigera vers le zéro-carbone

Demande d'hydrogène propre dans une économie à zéro émissions CO₂ (2050, scénario illustratif)
Millions de tonnes par an, parcours ETC de décarbonation de l'offre



Niveau de confiance dans le rôle du H₂ dans une économie zéro-carbone

Plus faible : Plusieurs voies de décarbonation sont possibles, le rôle éventuel du H₂ variera probablement d'une région à l'autre en fonction des coûts et des disponibilités locales.

Plus élevée : Les voies basées sur le H₂ sont susceptibles de jouer un rôle important dans la décarbonation en raison, par exemple, des limites des voies alternatives, de l'évolution probable des coûts, des actions de l'industrie.

Figure B

NOTES : ¹ Scénario ETC incluant des améliorations maximales de la productivité énergétique. Les produits chimiques de haute valeur sont principalement utilisés pour produire des plastiques, qui pourraient potentiellement être produits à partir de H₂ et de CO₂ (via le méthanol et le processus MTO) ; environ 80 % de l'ammoniaque (hors transport maritime) est utilisé pour produire des engrais ; le méthanol est utilisé comme intermédiaire dans des nombreux processus chimiques, y compris la production de plastiques.

SOURCE : analyse SYSTEMIQ pour Energy Transitions Commission (2021)

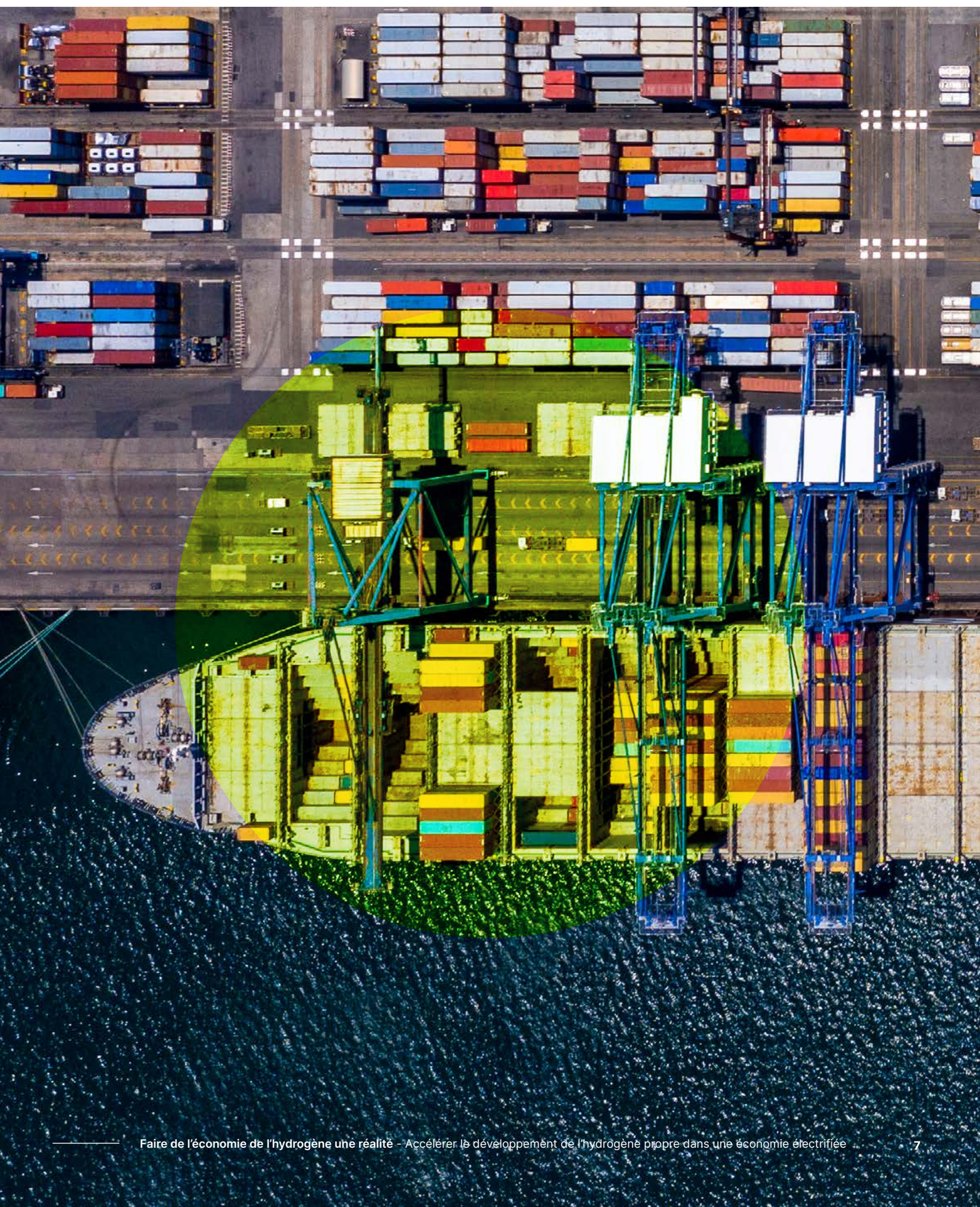
Hydrogène vert et bleu : conséquences sur la demande d'électricité

Tout hydrogène utilisé en 2050 doit être produit d'une manière qui n'émet pratiquement pas de carbone. Cela peut être rendu possible par les méthodes suivantes⁴ :

- Production d'hydrogène vert par l'électrolyse de l'eau. On peut ainsi fournir de l'hydrogène sans émission de carbone si toute l'électricité utilisée provient de sources zéro-carbones.

⁴ L'hydrogène peut également être produit à partir du charbon en commençant par un processus de gazéification, ou via d'autres technologies telles que la pyrolyse (parfois appelée «hydrogène turquise»), entre autres. Ces questions sont abordées dans le rapport complet et dans l'annexe.

- Production d'hydrogène bleu, qui dérive de du gaz naturel, avec application du captage et du stockage du carbone (CCS). On peut ainsi obtenir de l'hydrogène à faible teneur en carbone, mais non à teneur nulle, l'importance des émissions résiduelles étant déterminée par l'exhaustivité du processus de capture du carbone (au moins 90 % sont nécessaires) et l'ampleur des fuites de méthane lors de l'extraction, du transport et de l'utilisation du gaz naturel (< 0.05% visé).



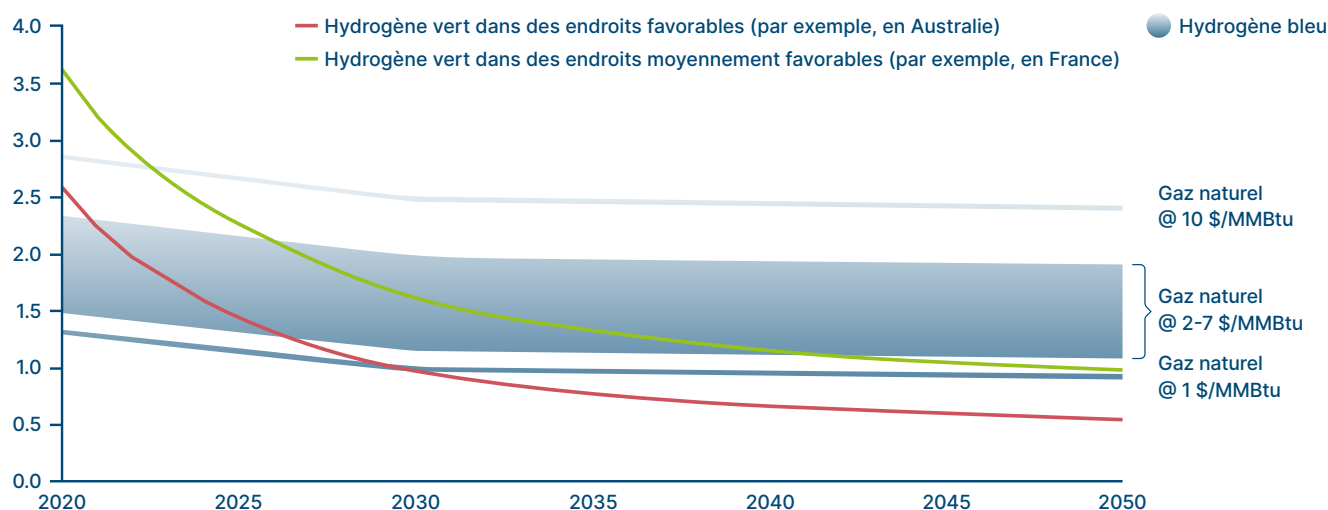
Les coûts de production de l'hydrogène bleu (1,3 à 2,9 \$/kg) sont actuellement inférieurs à ceux de l'hydrogène vert (2,6 à 4,5 \$/kg) et la production d'hydrogène gris (hydrogène issu de combustibles fossiles sans CCS) est encore moins chère (0,7 à 2,2 \$/kg).⁵ Abstraction faite de l'impact d'une éventuelle taxe sur le carbone, la voie «bleue» sera toujours plus coûteuse que la production d'hydrogène gris en raison du coût supplémentaire de la capture du carbone. En revanche, le coût de l'hydrogène vert dépend de deux facteurs - le coût de l'électricité zéro-carbone et le coût d'investissement des équipements d'électrolyse - qui sont tous deux susceptibles de baisser rapidement.⁶ Par conséquent, les coûts de l'hydrogène vert sont susceptibles de passer sous les coûts de l'hydrogène bleu dans certains endroits avant 2030 et dans la plupart d'entre eux d'ici 2050 (figure C).

Il est donc probable que la voie de production «verte» sera la principale voie de production à long terme, avec toutefois un rôle significatif pour la voie «bleue» durant la période de transition et dans des endroits spécifiques où les coûts du gaz sont très bas. Notre scénario de base suppose que d'ici 2050, 85 % des 500 à 800 Mt de production annuelle pourraient être produits par la voie «verte». Cela nécessiterait environ 30 000 TWh d'électricité⁷ en plus des 90 000 TWh potentiellement nécessaires pour l'électrification directe de l'économie.

L'hydrogène vert issu de l'électrolyse est susceptible de devenir la voie de production propre la moins chère à long terme ; dans les endroits favorables, il pourrait être compétitif avec l'hydrogène bleu d'ici 2030

Coût de la production d'H₂ à partir de différentes filières de production (hors coûts de transport et de stockage)

\$/kg H₂



NOTES : Production d'hydrogène bleu : i) prévisions basées sur les coûts du SMR + CSC (taux de capture de 90 %) en 2020, avec transition vers la technologie ATR + CCS moins chère dans les années 2020, ii) coûts du gaz naturel de < 2 \$/MMBtu en 2021 ; Production d'hydrogène vert : i) le scénario favorable suppose le LCOE des 33 % d'emplacements les plus bas et les scénarios moyens supposent le LCOE médian des 75 % d'emplacements les plus bas d'après les prévisions de Bloomberg NEF, ii) économies supplémentaires de 20 % du LCOE incluses en raison de la connexion directe des énergies renouvelables dédiées à l'électrolyseur, iii) taux d'apprentissage de 18 % pour le scénario favorable et de 13 % pour le scénario moyen. Facteur d'utilisation de la capacité de l'électrolyseur : 45 %

SOURCE : BloombergNEF (2021), Natural gas price database (online, retrieved 01/2021), BloombergNEF (2020), 2H 2020 LCOE Data Viewer

Coûts au niveau intermédiaire et pour le consommateur final

La production d'hydrogène zéro-carbone n'imposera pas un coût important à l'économie à long terme. Cependant, l'utilisation de l'hydrogène imposera probablement des coûts importants par rapport à l'utilisation d'une technologie basée sur les combustibles fossiles. Cela s'explique par la différence de coût qui subsiste entre l'hydrogène et les combustibles fossiles (en l'absence de prix du carbone) et aux investissements nécessaires pour le passage aux technologies de l'hydrogène. Il y aura donc un «coût écologique» lors de l'application de l'hydrogène dans le cadre de la décarbonation.

Toutefois, à l'exception du cas de l'aviation, le «coût écologique» pour les consommateurs (c'est-à-dire le montant supplémentaire que les consommateurs devront payer pour les produits et services qu'ils achètent) sera minime puisque les produits ou services intermédiaires ne représentent généralement qu'une très faible proportion du prix total des produits de consommation.

5 Le cas le plus bas et le cas le plus élevé pour l'hydrogène gris/bleu correspondent à une fourchette de prix du gaz naturel de 1 à 10 \$/MMBtu. Les coûts de l'hydrogène vert sont basés sur un coût de l'électricité de 25-60 \$/MWh et un CAPEX d'électrolyse de 850 \$/kW. Sources : BloombergNEF (2019), *Hydrogen – the economics of production from renewables* ; Entretiens avec des experts.

6 Le facteur d'utilisation de la capacité (c'est-à-dire le nombre d'heures de fonctionnement de l'électrolyseur) pour un coût de l'électricité donné et le rendement constituent d'autres facteurs clés.

7 Supposons 45 kWh par kg, contre 50-53 kWh par kg aujourd'hui.

Dans ce contexte, la demande d'hydrogène zéro-carbone ne se développera pas sans un soutien politique fort au niveau des produits intermédiaires et une répercussion des coûts sur les prix aux consommateurs.

Transport, stockage et commerce international

L'augmentation considérable de la demande dans un plus grand nombre d'applications nécessitera des systèmes étendus de transport et de stockage de l'hydrogène. Cela entraînera des coûts supplémentaires, mais pourrait aussi créer des opportunités de produire de l'hydrogène dans des endroits favorables et peu coûteux pour l'utiliser ailleurs.

Options technologiques et coûts

L'hydrogène peut être transporté sous différentes formes : comprimé, liquide ou sous forme d'ammoniaque. Les options de transport les moins coûteuses dépendront des volumes requis et des distances à parcourir. Un stockage important sera nécessaire pour prendre en charge certaines applications à grande échelle. Les besoins seront les plus importants lorsque l'hydrogène sera utilisé pour assurer l'équilibrage saisonnier du système électrique. Pour les applications dispersées géographiquement telles que le transport routier, les coûts de distribution et de stockage pourraient ajouter environ 1,3 \$ par kg aux coûts de production (de 2 \$ par kg environ).

Opportunités pour le commerce international

L'ampleur du commerce international de l'hydrogène sera limitée par trois facteurs : i) l'utilisation potentielle des lignes de transmission à haute tension pour transporter l'électricité sur de longues distances comme alternative au transport d'hydrogène vert ; ii) l'utilisation potentielle des gazoducs comme alternative au transport d'hydrogène bleu ; et iii) la probabilité que la baisse des coûts de l'électricité renouvelable réduise le différentiel de coût entre les régions du monde plus rapidement que ne baisseront les coûts de transport.

Par conséquent, les possibilités à long terme d'un commerce international rentable de l'hydrogène pourraient se limiter aux endroits où des pipelines de grande capacité peuvent être utilisés de manière économiques (généralement jusqu'à 1 000 km, en particulier lorsque les gazoducs existants peuvent être modernisés pour le transport de l'hydrogène), ou au transport de l'ammoniaque pour une utilisation finale sous la forme de l'ammoniaque (évitant une reconversion en hydrogène coûteuse et énergivore). En outre, un nombre limité de pays pourraient souffrir d'un déficit énergétique (par exemple, en raison du manque de surface pour la production locale d'énergie renouvelable), les obligeant à importer de l'énergie même si les coûts sont relativement élevés. Par ailleurs, il est probable que l'émergence d'une économie de l'hydrogène entraînera, au fil du temps, des changements dans la localisation optimale des industries à forte intensité énergétique, comme l'acier.

II. Favoriser la croissance de l'approvisionnement et de l'utilisation d'hydrogène propre à grande échelle

Il est évident que l'hydrogène peut et doit jouer un rôle majeur dans la future économie zéro-carbone. Le défi consiste à faire en sorte que la transition soit suffisamment rapide pour débloquer une production à faible coût et placer le secteur sur une trajectoire de croissance permettant d'atteindre les objectifs à 2050.

Réduire les coûts de production de l'hydrogène vert

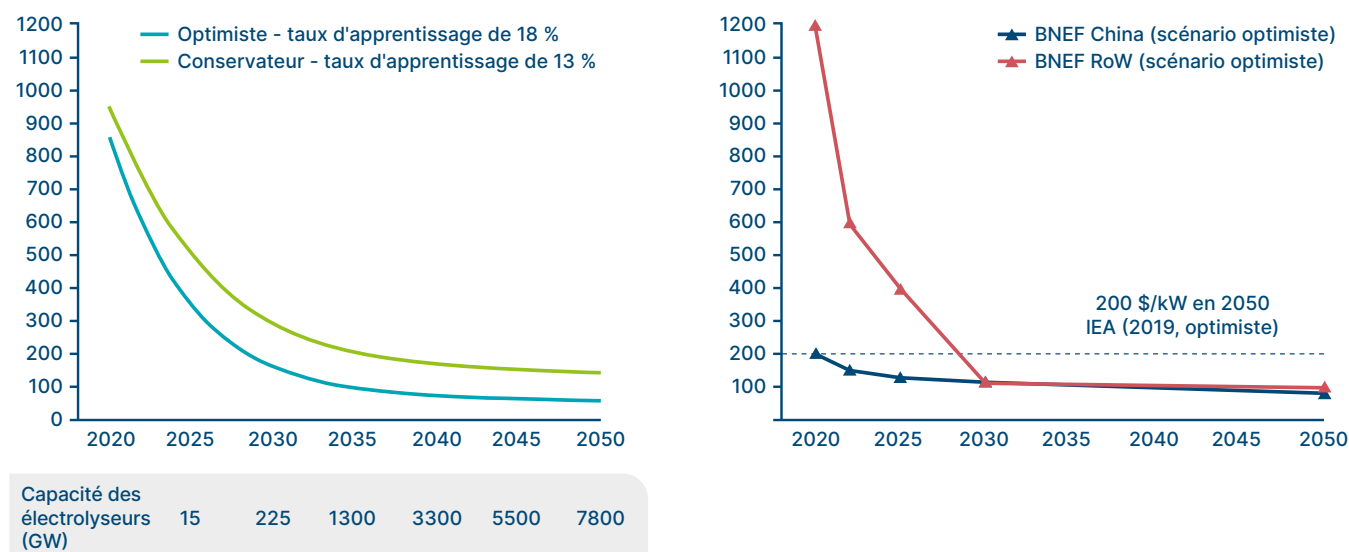
Bien que l'hydrogène vert ne soit pas compétitif aujourd'hui, si les politiques publiques et les projets privés déjà annoncés se concrétisent, ils suffiront à entraîner une forte réduction des coûts dans les années 2020, ce qui le rendra compétitif avec l'hydrogène bleu et l'hydrogène gris dans certaines régions.

Les coûts des deux principaux intrants - l'équipement d'électrolyse (figure D) et l'électricité renouvelable - devraient baisser rapidement dans les années 2020.⁸ Le coût de la production d'hydrogène vert devrait donc tomber en dessous de 2 \$ par kg et, dans certains endroits, en dessous de 1,5 \$ par kg au cours des années 2020. Plusieurs projets d'investissement privés visent déjà une production à ces coûts.

⁸ Le coût des équipements d'électrolyse devrait passer d'environ 850 \$/kW aujourd'hui à moins de 300 \$/kW en 2030. Le coût de l'électricité provenant de la production d'énergie renouvelable dédiée à la production d'hydrogène devrait passer sous la barre des 25 \$/kW dans des endroits moyennement favorables d'ici 2030.

Les coûts de production de H2 vert devraient baisser en raison de la chute des coûts des électrolyseurs et de la baisse continue des prix de l'électricité renouvelable.

Prévisions des dépenses d'investissement du système pour les grands projets d'électrolyse alcaline
US \$/kW



Accélérer la croissance de la demande

À la fin des années 2020, l'hydrogène propre devrait être compétitif en termes de coûts par rapport à l'hydrogène gris dans certains endroits. Toutefois, les applications finales de l'hydrogène, et donc la demande totale, pourraient ne pas croître assez rapidement dans les années 2020 pour engager une trajectoire crédible vers les 500 à 800 Mt nécessaires en 2050. Les politiques publiques devraient donc soutenir une croissance de la demande plus rapide dans les années 2020 que ce qui est nécessaire pour garantir une baisse du coût de l'hydrogène vert.

Les principales priorités sont de décarboner rapidement toute la production d'hydrogène existante et d'accélérer le développement technologique et l'adoption précoce de l'hydrogène dans d'autres secteurs clés - en particulier ceux dont la technologie est moins avancée mais dont la demande potentielle est importante, comme la production d'acier et l'ammoniaque dans les transports maritimes - afin de rendre possible un décollage rapide dans les années 2030.

Permettre une croissance rapide des capacités

Les stratégies de développement de l'économie de l'hydrogène devraient également anticiper l'ampleur des investissements nécessaires, identifier et supprimer les obstacles éventuels.

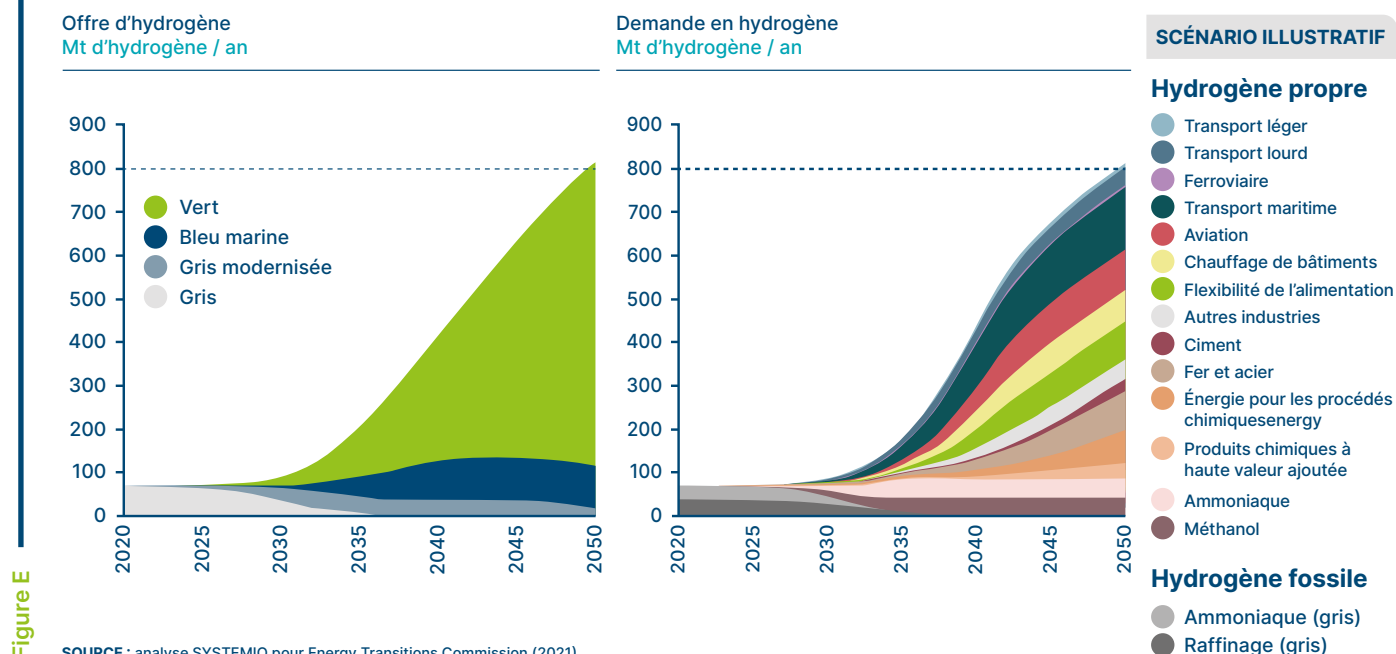
- Dans le cadre de l'hydrogène vert, il est évident que les ressources naturelles sont suffisantes pour soutenir une croissance massive. Cependant, les plans de développement des systèmes électriques doivent anticiper la très forte demande d'électricité pour la production d'hydrogène vert⁹.
- Le développement de l'hydrogène bleu pourrait être ralenti en raison des longs délais d'exécution des projets, de la difficulté de développer des réseaux de gazoducs partagés et de la résistance du public à la capture et au stockage du carbone, d'où la nécessité de stratégies nationales claires pour soutenir le développement approprié de l'hydrogène bleu.

L'équilibre réel entre l'hydrogène vert et l'hydrogène bleu dépendra des tendances futures en matière de technologie et de coût, et variera en fonction des circonstances nationales et régionales spécifiques. La figure E montre comment la demande par secteur et les sources d'approvisionnement pourraient évoluer au cours des 30 prochaines années.

9 ETC (2021), *Making Clean Electrification Possible: 30 years to electrify the global economy*

Dans un scénario d'électrification de masse, à quoi pourrait ressembler la mise à l'échelle de l'économie de l'hydrogène ?

Scénario 2 : ~85 % de l'offre de 2050 en vert, ~15 % en bleu



Développer des clusters d'hydrogène

Les stratégies visant à développer simultanément la production d'hydrogène à faible coût et la croissance de la demande seront souvent plus efficaces si elles sont initialement axées sur des «clusters d'hydrogène» dans lesquels la production, le stockage, le transport et l'utilisation finale de l'hydrogène peuvent se développer simultanément. Les clusters peuvent fournir aux producteurs d'hydrogène une plus grande certitude concernant la demande locale d'hydrogène, permettre aux différents utilisateurs de partager les coûts et minimiser le besoin initial d'investissements dans les infrastructures de transport.

Les caractéristiques détaillées de chaque cluster dépendront des spécificités géographiques et des activités présentes sur site au départ, mais quatre archétypes de clusters sont probables :

- Les clusters existants autour des activités de raffinage, de pétrochimie et de production d'engrais, où la production devra être décarbonée et où de nouvelles applications industrielles pourraient être ajoutées ;
- Les ports, qui doivent soutenir la décarbonation future du transport maritime, constituent également des plaques tournantes du transport, et sont souvent situés à proximité de sites d'industrie lourde ;
- Les nœuds logistiques non côtiers, avec colocation de différents usages liés au transport et à la logistique ;
- Les aciéries, dont la demande en hydrogène sera suffisamment importante pour servir de point d'ancrage au développement de clusters.

Normes de sécurité, qualité et sur la teneur en GHG

Le rôle majeur de l'hydrogène dans une économie mondiale zéro-carbone pourra être facilité par l'adoption de règles et normes internationales en matière de sécurité et de pureté de l'hydrogène. Des certifications claires permettant de s'assurer des faibles émissions de gaz à effet de serre de différentes filières d'approvisionnement de l'hydrogène sont également essentielles.

Investissements totaux - dominés par la croissance de la production électrique

La mise en place d'une économie de l'hydrogène représentant 15 à 20 % de la demande finale d'énergie à l'échelle mondiale, avec une demande d'hydrogène multipliée par 5 à 7 par rapport aux 115 Mt actuelles¹⁰, nécessitera des investissements très importants.

¹⁰ IEA (2019), *The future of hydrogen*

Au total, les investissements pourraient s'élever à près de 15 000 milliards de dollars d'ici 2050, avec un pic à la fin des années 2030 à environ 800 milliards de dollars par an¹¹. Environ 12 500 milliards de dollars (85 %) de ce montant sont liés à l'augmentation nécessaire de la production d'électricité¹². Ces investissements s'ajouteraient aux investissements nécessaires à l'électrification directe décrite dans notre rapport parallèle.¹³ Des stratégies à long terme visant à développer massivement l'approvisionnement en électricité propre sont donc essentielles pour parvenir à une économie zéro-carbone, dans laquelle l'électricité directe et l'hydrogène, ainsi que ses carburants dérivés, représenteront ensemble plus de 85 % de la consommation finale d'énergie.

III. Actions politiques et industrielles cruciales dans les années 2020

Pour parvenir à une économie zéro-carbone d'ici le milieu du siècle, il est nécessaire d'accélérer considérablement la production et l'utilisation d'hydrogène propre d'ici 2030. Les progrès doivent porter sur deux dimensions essentielles :

- La production d'hydrogène propre devrait atteindre 50 millions de tonnes d'ici 2030, ce qui permettrait de débloquer des coûts moyens de production d'hydrogène propre bien inférieurs à 2 \$/kg dans toutes les régions et de placer l'augmentation de la capacité sur une trajectoire permettant d'atteindre les objectifs à 2050.
- La majorité (60 % et plus) de la demande correspondante devrait provenir de la décarbonation des utilisations existantes de l'hydrogène, combinée à la croissance rapide de nouveaux usages de l'hydrogène.

Par conséquent, les actions publiques et privées visant à stimuler l'économie de l'hydrogène doit combiner des leviers politiques généraux et des interventions sectorielles spécifiques. Les priorités clés incluent :

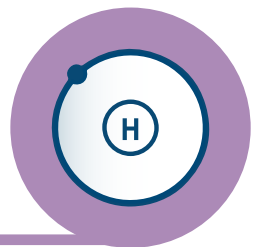
1. **La tarification du carbone**, qui devrait idéalement faire partie des politiques publiques dans tous les pays, pour inciter tout à la fois à la décarbonation de la production d'hydrogène et à la décarbonation des secteurs qui pourraient l'utiliser, et pour s'assurer que les technologies de l'hydrogène propre (et d'autres options de décarbonisation) puissent être compétitives par rapport aux technologies utilisant des combustibles fossiles.
2. **Des politiques sectorielles spécifiques pour soutenir la croissance de la demande et compenser la «surcoût écologique»** dans des applications particulières, via :
 - Réglementations exigeant un pourcentage d'utilisation d'énergie à faible teneur en carbone (par exemple, mandats pour les carburants verts dans le transport maritime ou l'aviation) ou fixant des normes d'émissions sur le cycle de vie des produits (par exemple, pour les voitures) ;
 - Engagements volontaires du secteur privé à acheter des produits et des services à faible émissions de carbone (par exemple, des entreprises de logistique s'engageant à utiliser des camions et des navires à faible émissions de carbone) ;
 - Politiques de marchés publics écologiques (par exemple, «acier vert» dans la construction publique) ;
 - Incitations financières pour l'adoption de l'hydrogène, par le biais de mécanismes tels que les « contrats de différence » afin de compenser le «surcoût écologique» des produits à faible teneur en carbone.
3. **Des objectifs** de croissance pour la fabrication et l'installation d'électrolyse à grande échelle, complété par un soutien public aux premiers sites de production d'électrolyse.
4. **La collaboration public-privé pour mettre sur le marché des technologies clés dans les domaines de la production** (par exemple, équipements d'électrolyse avec une montée en puissance plus rapide), du transport et du stockage (par exemple, nouvelles formes de stockage de l'hydrogène dans les cavernes rocheuses) et de l'utilisation (par exemple, réduction directe du fer par l'hydrogène) de l'hydrogène.
5. **Le développement de clusters d'hydrogène propre**, grâce à une action coordonnée du secteur privé, soutenue par les pouvoirs publics nationaux et locaux.
6. **Des règles et normes internationales** en matière de sécurité, de pureté et de certification carbone de l'hydrogène propre.

11 Le besoin d'investissement moyen sur 30 ans est d'environ 500 milliards de dollars par an, ce qui est du même ordre de grandeur que les dépenses pétrolières et gazières au cours des 10 dernières années (400-600 milliards de dollars par an). Source : IEA (2020), World Energy Investment 2020.

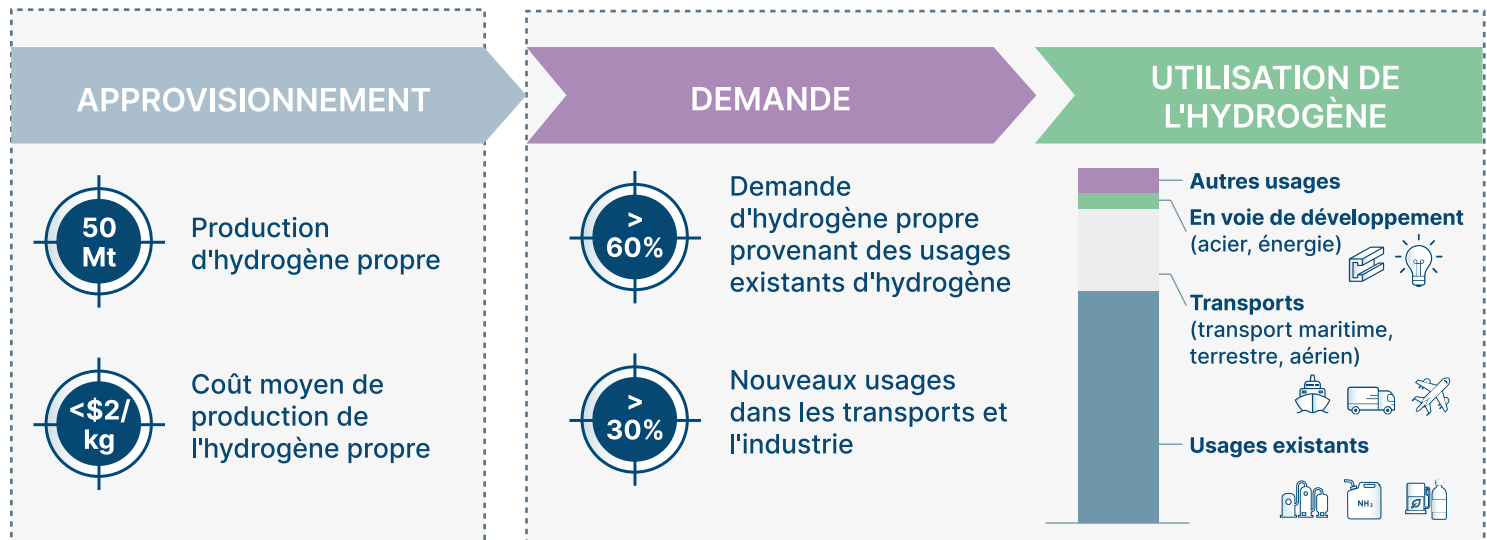
12 Dans certains cas, une infrastructure de transport supplémentaire peut également être nécessaire, par exemple dans le cadre d'une énergie renouvelable dédiée provenant de l'éolien offshore.

13 ETC (2021), *Making Clean Electrification Possible: 30 years to electrify the global economy*

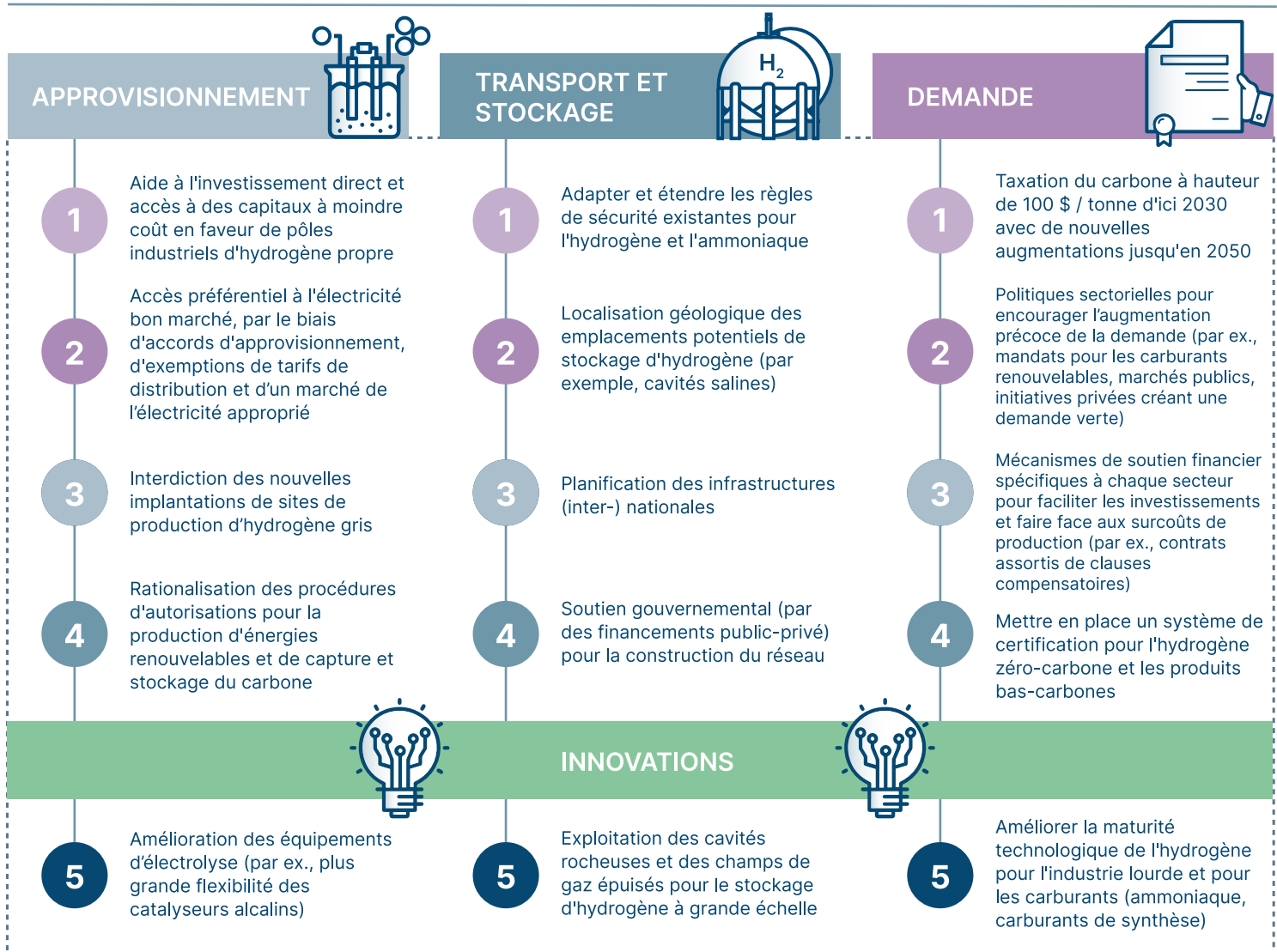
LE DÉVELOPPEMENT DE L'HYDROGÈNE DANS LES ANNÉES 2020



OBJECTIFS POUR 2030 :



LES 5 ACTIONS PRIORITAIRES



The **Making Mission Possible** Series

Faire de l'économie de l'hydrogène une réalité:

Accélérer le développement de l'hydrogène propre dans une économie électrifiée

April 2021

Version 1.0

Résumé



Energy
Transitions
Commission