Développons l'Hydrogène pour l'économie française

Étude prospective

syn

Cette étude apporte une perspective sur le système énergétique français dans le cadre de la Stratégie Nationale Bas Carbone, la Programmation pluriannuelle de l'énergie 2018. Il contribue à l'établissement de la feuille de route française de l'hydrogène demandée par le Ministre de la Transition écologique et solidaire.

Ont participé à cette étude prospective l'AFHYPAC, Air Liquide S.A., Alstom, le CEA, EDF, Engie S.A., Groupe Michelin, Hyundai Motor Company France, Plastic Omnium, SNCF, Total S.A., Toyota Motor Europe, France.

McKinsey & Company a apporté son concours analytique pour établir les quantifications et projections.

Les technologies de l'hydrogène décarboné et des piles à combustible pourraient être des **contributeurs majeurs** pour la réalisation des objectifs ambitieux de **décarbonation** que la France s'est fixés et ouvrent de réelles **perspectives de croissance écologique** pour l'industrie française. Dans cette approche holistique du potentiel que représente aujourd'hui l'hydrogène en France, ce rapport présente une vision ambitieuse mais réaliste. Dix entreprises représentant l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène, ainsi que l'Association française pour l'hydrogène et les piles à combustible (AFHYPAC) et le CEA ont participé à cette étude.

A l'horizon 2050 l'hydrogène décarboné pourrait répondre à **20 % de la demande d'énergie finale** et pourrait réduire les émissions annuelles de CO_2 de **~55 millions de tonnes**, soit l'équivalent **d'un tiers des réductions supplémentaires de CO_2** à réaliser pour combler l'écart entre les objectifs de décarbonation de la France (Plan Climat) et le scénario de référence actuel[1].

L'hydrogène décarboné et les piles à combustible permettraient également de créer une industrie à part entière qui, **en 2030,** représenterait un chiffre d'affaires d'environ **8,5 Md€,** pour **plus de 40 000 emplois,** et compenserait les éventuelles pertes d'emplois qui pèsent aujourd'hui notamment sur le secteur de l'automobile. En 2050, ce chiffre pourrait atteindre 40 milliards d'euros et plus de 150 000 employés.

thèse

Mettre en œuvre cette vision placerait la France dans le peloton des pays déjà actifs dans le développement de l'hydrogène et des piles à combustible et lui offrirait de nouvelles opportunités économiques sur les marchés de l'hydrogène en expansion (Europe, Chine, Japon, Corée, etc.). Compte tenu des atouts majeurs dont dispose la France, tant en matière de production d'hydrogène et de fabrication des équipements liés, que du point de vue des composants et matériaux spécialisés, l'hydrogène pourrait ouvrir des **opportunités à l'exportation** de l'ordre de **6,5 Md€ d'ici 2030.**

La réalisation de cette vision ambitieuse exige néanmoins que les industriels et le gouvernement **intensifient leurs efforts** pour accélérer le déploiement général des solutions hydrogène.

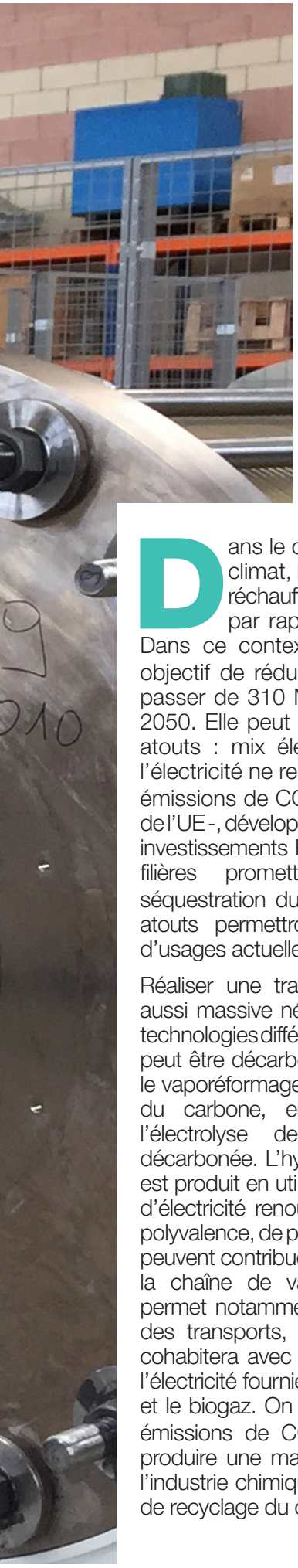
Au cours des dix prochaines années, environ 8 Md€ pourraient être investis sur l'ensemble de la chaîne de valeur (environ 800 M€ par an, soit **2,5 %** de l'investissement global de la France dans la décarbonation[2]) si les conditions de leur déblocage étaient réunies. Ces investissements pourraient alors permettre de déclencher les actions nécessaires en vue de franchir les jalons suivants sur les 10 prochaines années (d'ici 2028) :

- Dans le secteur des **transports** : 400 stations à hydrogène de différentes tailles et 200 000 véhicules électriques à pile à combustible, avec un déploiement anticipé dans les transports publics (ex. autobus et trains) et les flottes de taxis et de véhicules utilitaires.
- Dans le secteur du **bâtiment** : production d'hydrogène à injecter dans le réseau de gaz naturel, pour un total équivalent à 0,5 à 1 % de la demande de gaz de ce secteur.
- Dans le secteur de **l'industrie** : premières utilisations de l'hydrogène décarboné dans le cadre de projets de démonstration de grande échelle portant sur l'application de l'hydrogène à la production de chaleur et comme matière première pour l'industrie (industries chimique et sidérurgique)
- Augmentation de la **capacité d'électrolyse,** pour la porter à 0,8 - 1 GW

La réalisation de cette vision nécessite d'établir un cadre réglementaire adapté et équitable incluant une coordination entre industriels, pouvoirs publics, secteur financier et instituts de recherche, et des politiques incitatives à long terme. L'hydrogène décarboné représente un potentiel important : son large développement et sa compétitivité exigent un soutien adapté, tout comme pour les autres technologies émergentes.

Cette étude n'a pas pour ambition de présenter l'hydrogène comme l'unique solution pour réussir la transition énergétique, mais comme l'une des composantes clés pour contribuer à la décarbonation de la France tout en offrant des perspectives significatives de croissance économique.

1/EU RTS scenario – 2/D'après une estimation d'I4CE – Institute for Climate Economics, l'investissement de la France dans la décarbonation s'est élevé en 2016 à environ 32 Md€, ceci comprend les investissements dans l'efficacité énergétique, le développement des énergies renouvelables et la construction d'infrastructures de transport et de réseau durables.



L'hydrogène est un pilier majeur de la réussite de la transition énergétique en France

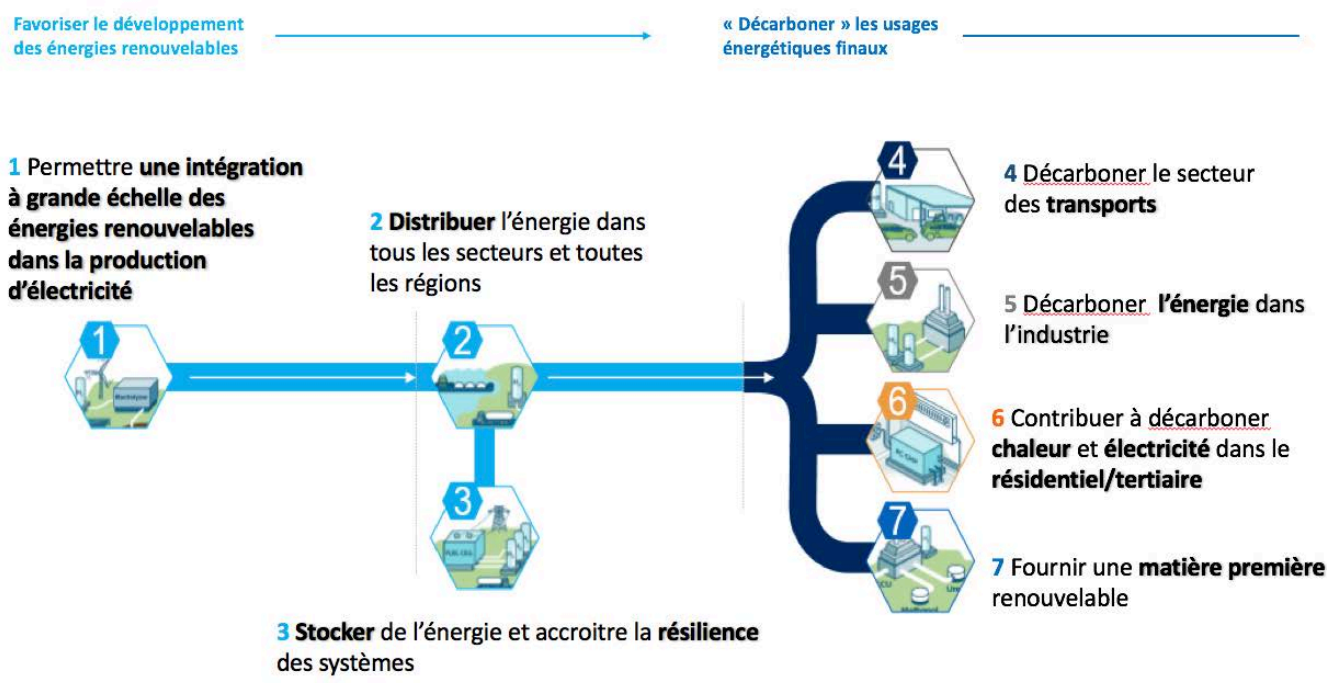
Dans le cadre de l'Accord de Paris sur le climat, la France s'est engagée à limiter le réchauffement climatique maximal à 2°C par rapport aux niveaux préindustriels. Dans ce contexte, la France s'est fixée pour objectif de réduire ses émissions de CO_2 pour passer de 310 Mt en 2015 à environ 90 Mt en 2050. Elle peut y parvenir en tirant parti de ses atouts : mix électrique déjà très décarboné - l'électricité ne représente en France que 7% des émissions de CO_2 contre 30% pour la moyenne de l'UE -, développement de l'efficacité énergétique, investissements R&D déjà très engagés dans des filières prometteuses comme le captage/séquestration du CO_2 et les biocarburants ; ces atouts permettront d'assurer la décarbonation d'usages actuellement carbonés.

Réaliser une transition du système énergétique aussi massive nécessite d'employer une série de technologies différentes. La production d'hydrogène peut être décarbonée, par exemple en combinant le vaporéformage et le captage et la séquestration du carbone, en utilisant le biométhane, ou l'électrolyse de l'eau à partir d'électricité décarbonée. L'hydrogène devient renouvelable s'il est produit en utilisant l'électrolyse de l'eau à partir d'électricité renouvelable. Les caractéristiques de polyvalence, de pureté et de sécurité de l'hydrogène peuvent contribuer à la transition sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'énergie. L'hydrogène permet notamment de "décarboner" les secteurs des transports, du bâtiment et l'industrie, où il cohabitera avec d'autres technologies, telles que l'électricité fournie par le réseau et par les batteries et le biogaz. On peut en outre le combiner à des émissions de CO_2 préalablement captées pour produire une matière première renouvelable pour l'industrie chimique et créer ainsi un moyen viable de recyclage du carbone.

Enfin, l'hydrogène peut contribuer au déploiement des énergies renouvelables par la conversion et le stockage de l'électricité renouvelable, par la distribution de cette électricité au plan national et international et par la constitution de réserves d'énergies.

La transition énergétique présente aussi un certain nombre de défis pour l'industrie française. Les constructeurs et les équipementiers automobiles en France représentent aujourd'hui un chiffre d'affaires de plus de 100 milliards d'euros et emploient quelque 225 000 personnes. Le développement de la société de l'hydrogène peut être source de création de nouvelles mobilités qui s'inscrivent dans un mix énergétique répondant aux enjeux français de société décarbonée. Développer les équipements hydrogène pour le marché domestique et international contribuerait à pérenniser la création de valeur et d'emplois dans ces secteurs. Les entreprises françaises sont en effet déjà leaders dans le développement d'équipements et de matériaux spécifiques pour véhicules à pile à combustible, dans la production et la distribution de l'hydrogène et dans le développement des équipements nécessaires à la production et à la distribution de l'hydrogène.

Figure 1 : L'hydrogène décarboné peut jouer 7 rôles dans la transition énergétique



Cette étude présente une vision ambitieuse, mais réaliste, du rôle que pourrait jouer l'hydrogène au sein du système énergétique français. Cette vision s'appuie sur des technologies dont la capacité de fonctionnement a déjà été démontrée dans la pratique et envisage leur déploiement à grande échelle.

Elle reconnait que l'hydrogène n'est pas le seul vecteur énergétique décarboné, mais considère les technologies de l'hydrogène comme une composante incontournable du portefeuille de technologies à faible intensité en carbone, dans certains secteurs, dont la France a besoin pour atteindre ses objectifs de décarbonation.

Cette vision exige néanmoins que tous les acteurs, qu'ils soient publics ou privés, intensifient leurs efforts pour faire avancer la transition énergétique et pour accélérer le déploiement à grande échelle de solutions hydrogène leur permettant de devenir compétitives.

MÉTHODOLOGIE

Dans l'optique d'établir une vision Hydrogène exhaustive et quantifiée pour la France, la présente étude s'est appuyée sur trois sources principales :

- Un modèle de système énergétique, fondé sur les scénarios de l'ADEME et de RTE compatibles avec celui du Plan Climat (scénario à 2° Celsius), complété par les données de SoeS, STATISTA, IHS, BP, CEPS, World Steel et AFHYPAC.
- Des taux d'adoption de l'hydrogène et des piles à combustible issus de la feuille de route pour l'hydrogène élaborée par *l'Hydrogen Council*. *L'Hydrogen Council*, un consortium de 18 grandes entreprises actives tout au long de la chaîne de valeur de l'hydrogène, a mené une étude sur l'adoption potentielle de l'hydrogène et des piles à combustible dans chaque secteur, à l'échelle mondiale. Ses membres ont fourni des estimations du potentiel de l'hydrogène, par segment, dans les secteurs des transports, de l'industrie, du bâtiment et de l'énergie, selon le scénario des 2° Celsius. Les chiffres ont été agrégés et vérifiés, et les valeurs aberrantes ont été retirées de l'échantillon par un tiers neutre, qui a également conduit le processus d'alignement entre les membres en vue d'atteindre un consensus. En ce qui concerne la vision à long terme, les chiffres de 2030 ont été calculés comme des jalons réalistes et nécessaires pour atteindre les objectifs de 2050.
- Une enquête réalisée parmi les entreprises participantes à l'étude et les membres de l'AFHYPAC. 25 entreprises ont répondu et fourni des données qui ont servi à calibrer les hypothèses relatives à l'impact sur l'emploi, les investissements prévus et les multiplicateurs macroéconomiques. Ces données, ainsi que les données macroéconomiques d'Eurostat, constituent la base des estimations pour le calcul des recettes, de l'emploi et des importations / exportations dans ce rapport.

En 2050 en France, l'hydrogène décarboné pourrait répondre à 20 % de la demande d'énergie finale

La France est bien positionnée pour utiliser l'hydrogène décarboné comme un levier décisif sur le plan économique et environnemental, dans le cadre de sa transition énergétique :

Paysage industriel

Des entreprises françaises font partie des plus grands producteurs et distributeurs d'hydrogène au monde et sont à la pointe dans ce domaine. L'industrie française est également un important consommateur d'hydrogène en consommant 920 000 tonnes par an pour le raffinage, les produits chimiques, les engrais et la métallurgie. En outre, si les constructeurs automobiles français n'ont, pour l'heure, pas signalé leur intention de commercialiser à grande échelle des véhicules électriques à pile à combustible (FCEV), la France compte par ailleurs de solides acteurs, dont un grand nombre d'équipementiers et de PMEs, dans le secteur des matériaux et des composants pour les systèmes à pile à combustible.

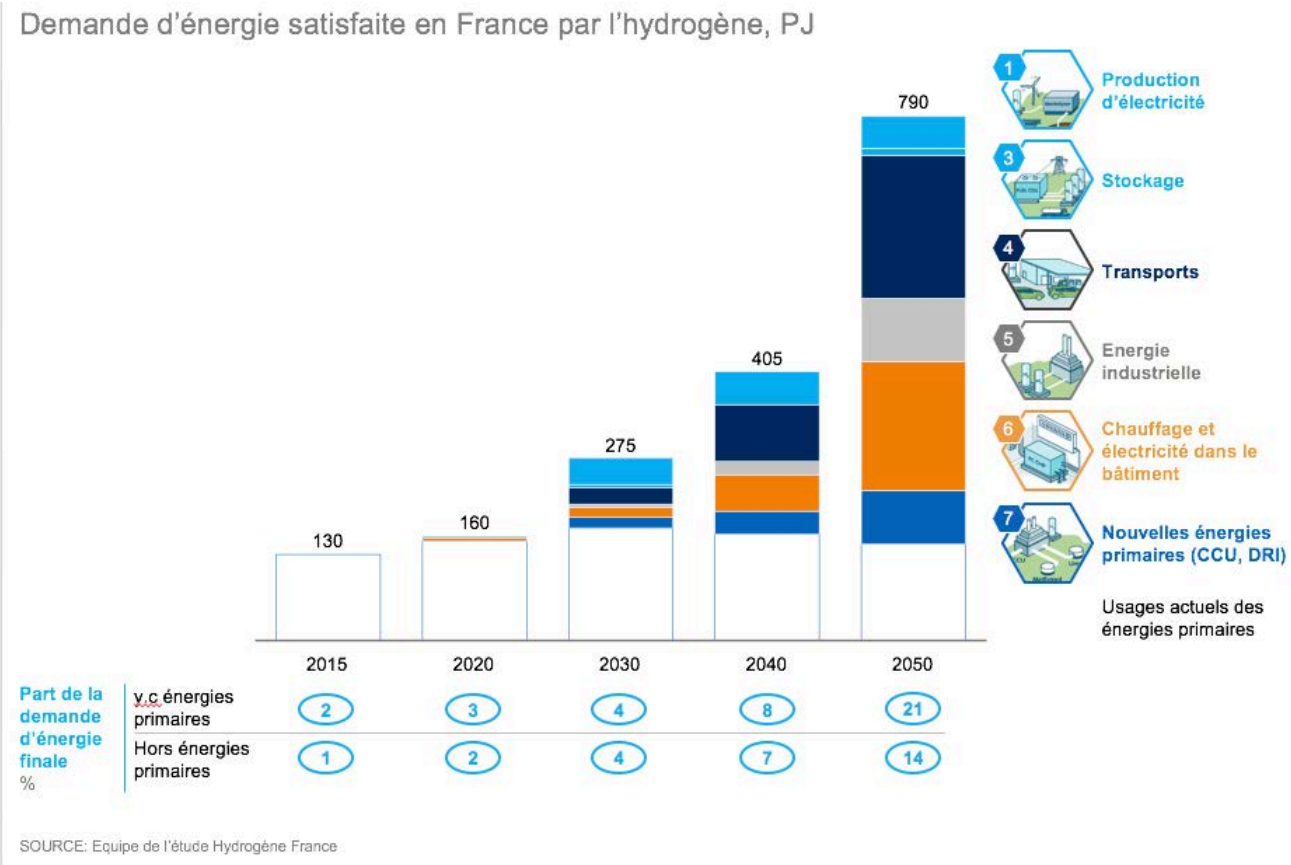
Electricité

La France dispose aujourd'hui d'un mix électrique faiblement intensif en carbone et à coût relativement réduit (~50 g/kWh contre 560 g/kWh en Allemagne). Ce mix permettrait de favoriser la production, propre et abordable, de l'hydrogène par électrolyse, qui est en concurrence avec d'autres sources de production, telles que le vaporéformage du gaz naturel couplé au captage et à la séquestration du carbone. La France a également d'ambitieux projets de développement de ses capacités en matière d'énergie renouvelable, qui pourraient ouvrir des opportunités supplémentaires pour l'hydrogène qui permet d'absorber en les stockant ces capacités supplémentaires. Enfin, la France possède plus de 100 îles habitées où l'hydrogène pourrait permettre de développer un système énergétique totalement décarboné et autonome.

Objectifs de décarbonation en matière de transport

La France s'affirme en leader de la décarbonation, en prévoyant notamment d'instaurer une réglementation très stricte en matière de pollution pour tous les secteurs de sa propre économie (sa Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) instaure une stratégie de mobilité propre et le Plan Climat prévoit notamment la fin des ventes de voitures au diesel et à essence en 2040). Les villes françaises, elles aussi, s'emploient très activement à réduire les émissions locales (ex. l'ambition de Paris de mettre un terme à la circulation des voitures diesel dès 2024 et à essence dès 2030). La réalisation de ces objectifs ambitieux impose de favoriser la mise en œuvre d'un large ensemble de technologies propres avec l'hydrogène comme l'une des composantes majeures.

Figure 2 : La demande annuelle d'hydrogène pourrait atteindre environ 790 PJ (220 TWh) d'ici 2050



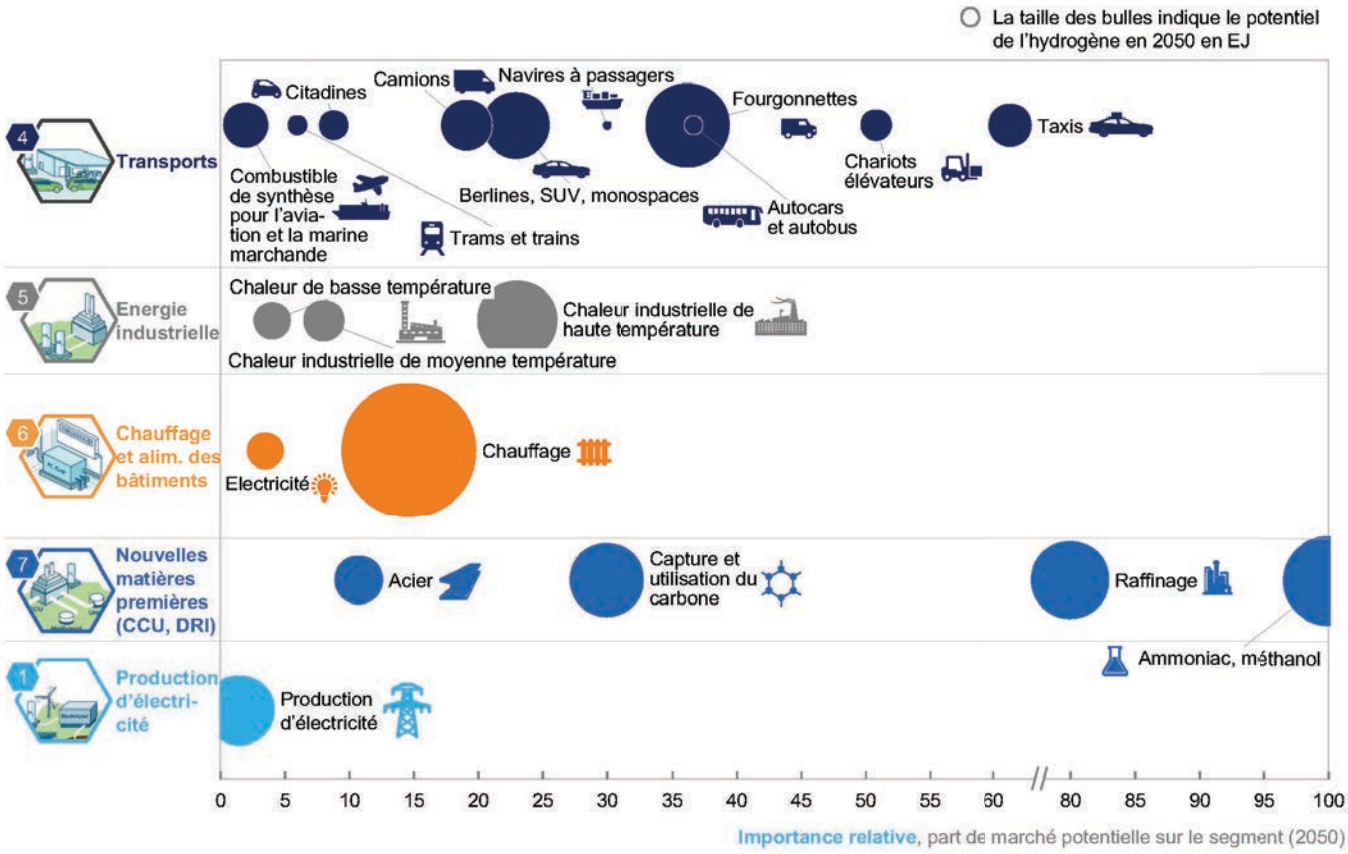
SOURCE: Equipe de l'étude Hydrogène France

Décarboner les usages énergétiques des consommateurs finaux

Dans la perspective où les gouvernements, les industriels et les investisseurs concourent activement à atteindre l'objectif des 2 degrés, la demande d'hydrogène pourrait augmenter, pour passer de 0,9 Mt – la demande actuelle – à 5,5 Mt en 2050, et ce dans sept domaines d'application. *In fine*, l'utilisation de l'hydrogène pourrait correspondre à un volume à hauteur d'environ 790 PJ (= 220 TWh) d'énergie, soit près de 20 % de la demande d'énergie finale (ou près de 15 % si l'on exclut les utilisations en tant que matière première).

Le potentiel que représente l'hydrogène décarboné varie suivant les applications et sa compétitivité face aux alternatives : ainsi d'ici 2050, l'hydrogène pourrait alimenter pas moins de 18 % du parc des véhicules pour le transport de passagers et de fret et représenter près de 12 % de la demande de chauffage et d'électricité des ménages et environ 10 % de la demande de chaleur et d'électricité de l'industrie. L'hydrogène pourrait aussi être associé au CO_2 dans le but de produire une matière première renouvelable utilisée pour la production de plus de 2 millions de tonnes de produits chimiques. L'hydrogène pourrait également servir à la production décarbonée de 1,5 million de tonnes d'acier.

Figure 3 : Les taux d'adoption et le potentiel global de l'hydrogène à horizon 2050 varient suivant les secteurs et les segments



Transports

Dans le secteur des transports, les véhicules électriques à pile à combustible (FCEV), devront être déployés aux côtés des véhicules électriques à batterie (BEV) et des véhicules à faibles émissions, tels que les véhicules hybrides, afin de décarboner les différents segments du secteur et atteindre l'objectif "zéro voiture neuve au diesel ou à essence" fixé par le gouvernement pour 2040. Ces diverses technologies seront complémentaires, si l'ampleur du déploiement est suffisante pour garantir la compétitivité des coûts. Par ses caractéristiques d'autonomie, de temps de recharge et de poids, par exemple, la technologie des FCEV est mieux adaptée aux véhicules plus lourds, qui ont des temps d'immobilisation plus courts, et notamment les taxis, les véhicules utilitaires légers, les camions et les autobus (+ de 30 % du parc d'ici 2050). S'agissant des autobus et des camions, en 2050, environ un bus sur quatre et un camion sur cinq pourraient fonctionner à l'hydrogène. Concernant les voitures particulières, la technologie FCEV sera complémentaire de la technologie BEV, pour répondre aux différentes préférences des clients (environ 20 % du parc d'ici 2050), et les taux d'adoption seront probablement les plus élevés dans les zones à densité de population très forte ou, à l'inverse, très faible.

Chauffage et alimentation en énergie des bâtiments

Dans le secteur du bâtiment, l'adoption de l'hydrogène pourrait être portée par son introduction dans le réseau de transport et de distribution du gaz naturel. A cet égard, le Code de l'énergie français a porté à 10 % la part que devra représenter le gaz renouvelable dans la consommation globale de gaz à l'horizon 2030, objectif que certaines entreprises françaises de service public envisagent de porter à 30 % pour 2030 et 100 % pour 2050. En 2050 l'hydrogène (pur ou sous forme de méthane de synthèse) pourrait ainsi représenter près d'un tiers du mix de gaz et environ 12 % de la demande d'énergie des bâtiments.

Energie et matière première pour l'industrie

L'hydrogène constitue une option pour décarboner les procédés difficiles à électrifier directement, telle que la chaleur industrielle à haute température. Selon notre vision, l'hydrogène a le potentiel pour constituer en 2050 près de 10 % de l'énergie dans l'industrie. L'hydrogène propre pourrait aussi servir à décarboner les utilisations actuelles de l'hydrogène en tant que matière première du secteur du raffinage et de la chimie, associé au captage de carbone (en utilisant en 2050 2,5 à 3 Mt de CO_2 et 0,5 Mt d'hydrogène pour produire plus de 2 Mt de méthanol, d'oléfines et d'autres produits chimiques). L'hydrogène pourrait également servir de réducteur, pour des procédés d'élaboration décarbonée de l'acier, et pourrait être employé dans la production de plus de 1,5 Mt d'acier.

VERS UN SYSTÈME ENERGÉTIQUE DÉCARBONÉ

L'hydrogène pourrait aussi contribuer à la transition énergétique en renforçant le système énergétique.

Intégration des énergies renouvelables et production d'électricité

L'hydrogène est un vecteur d'énergie contribuant à l'intégration des énergies renouvelables dans le système énergétique. Il est un des moyens permettant de répondre au problème de l'intermittence des énergies renouvelables, notamment parce qu'il offre une solution de stockage et de flexibilité au service des infrastructures.

Le gouvernement français a fixé des objectifs ambitieux de production renouvelable (40% en 2030). Certains scénarios vont jusqu'à envisager une part des énergies renouvelables variables (VRE[4]) de 70 % du mix énergétique français[5]. Ce scénario nécessiterait un stockage de l'énergie de long terme et/ou une intégration sectorielle représentant jusqu'à 8 % de la production globale d'énergie (conversion jusqu'à 35 TWh d'électricité en hydrogène). Bien que cela ne corresponde qu'à une partie de l'hydrogène prévue dans notre vision, ces surplus d'électricité renouvelable constitueraient une source d'hydrogène économique.

Outre le stockage de long terme et le couplage des secteurs électriques et gaziers, l'hydrogène pourrait aussi servir à produire et à stocker une énergie décarbonée qui sera donc mobilisable en fonction de la demande. Nous pensons à cet égard qu'en 2050 une part significative des centrales électriques au gaz fonctionnera à l'hydrogène.

Constitution de réserves (*"Buffering"*)

Le système énergétique de la France dispose actuellement d'une capacité de stockage correspondant à près de 20 % de la demande finale de gaz naturel. L'hydrogène, comme moyen de stockage de longue durée de l'électricité, pourrait aussi servir de réserve pour le système énergétique renouvelable. L'hydrogène peut être stocké dans des cavités souterraines, comme on le fait aujourd'hui pour le gaz naturel. La constitution d'une réserve d'hydrogène analogue au gaz naturel ainsi que d'une réserve d'hydrogène pour le système d'électricité renouvelable nécessiterait une augmentation annuelle des moyens de stockage d'environ 0,3-0,5 PJ (soit 1,5-2,5 TWh par an).

Distribution et Transport de l'énergie

L'hydrogène peut et doit de préférence être produit à partir d'une électricité générée localement. Toutefois il est également possible d'utiliser l'hydrogène ou des combustibles riches en hydrogène pour transporter de l'électricité renouvelable à l'international. Si cette option s'avérait compétitive, elle permettrait par exemple de transporter de l'énergie solaire depuis l'Afrique du Nord vers l'Europe.

Production de l'hydrogène

Il est possible de produire de l'hydrogène à partir de différentes sources. A l'heure actuelle, l'hydrogène utilisé comme matière première industrielle est produit essentiellement à partir de gaz naturel par vaporéformage du gaz naturel, ou sous la forme d'un co-produit, dans l'industrie. Selon notre vision, la production de l'hydrogène doit être rapidement décarbonée. La demande nouvelle d'hydrogène sera principalement satisfaite par des méthodes économiques de production décarbonée qui devraient aussi satisfaire les utilisateurs actuels d'hydrogène comme matière première. En 2030, l'hydrogène destiné aux transports, aux bâtiments et à l'industrie serait produit à 90% à partir de sources sans carbone, que ce soit par électrolyse centralisée ou distribuée ou par vaporéformage du biométhane ou du gaz naturel allié au captage du carbone.

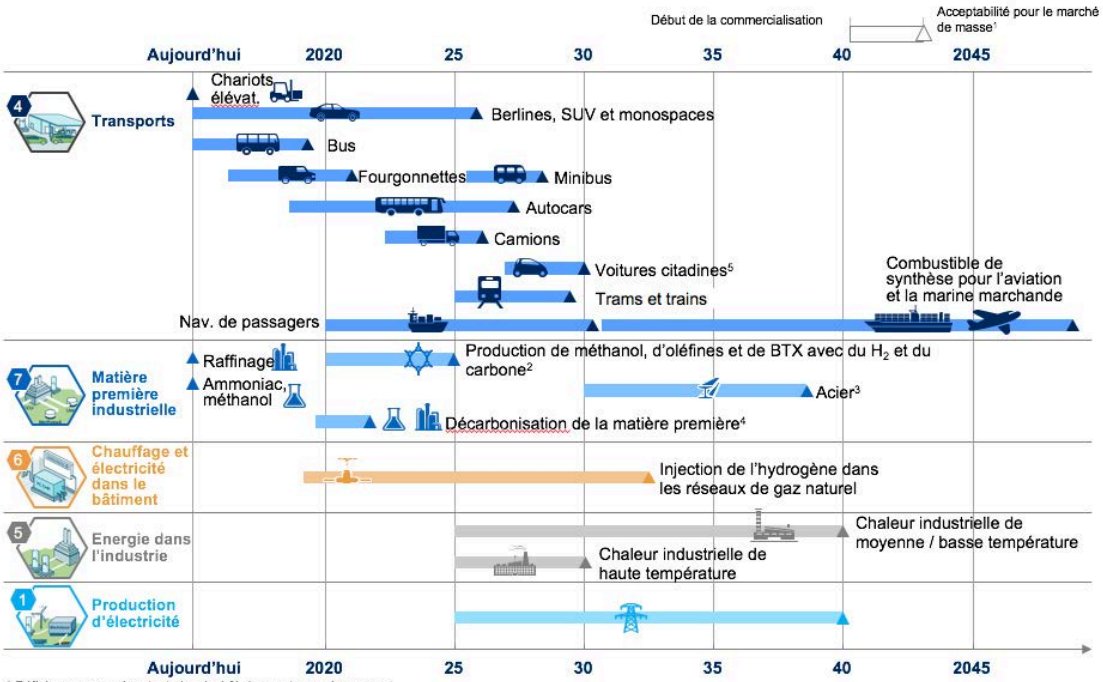
4/Variable Renewable Energy – 5/ Energie solaire, éolienne et hydroélectrique au fil de l'eau ; estimation tirée des scénarios de la Vision de l'ADEME pour 2035-2050

Réaliser la vision 2050 impose de changer d'échelle dès maintenant

Pour réaliser cette vision ambitieuse à l'horizon 2050, la France devrait lancer sans plus attendre le déploiement à l'échelle des solutions à l'hydrogène décarboné . Une montée en puissance significative sur l'ensemble de la chaîne de valeur ainsi que des projets de grande envergure sont exigés pour augmenter la disponibilité de l'hydrogène décarboné, baisser le coût de l'hydrogène et des solutions hydrogène et ouvrir les marchés correspondants.

Les pilotes régionaux en cours de développement autour des solutions hydrogène, peuvent former une base de départ pour cette montée en puissance, mais un cadre national partagé avec les acteurs, s'inscrivant dans la durée, équitable et incitatif est également essentiel, pour garantir la cohérence du déploiement et la visibilité nécessaire aux investisseurs.

Figure 4 : De nombreuses technologies hydrogène seront bientôt prêtes pour être déployées à grande échelle



1 Défini comme représentant plus de 1 % des ventes sur le segment
2 La part de marché correspond au volume de production qui utilise de l'hydrogène et du carbone capturé pour remplacer la matière première
3 Minerai préréduit avec réduction écologique via le H_2, en haut fourneau, et autres procédés faiblement intensifs en carbone utilisant du H_2 pour l'élaboration de l'acier
4 La part de marché correspond au volume de matière première produit à partir de sources faiblement intensives en carbone
5 La date de commercialisation, pour la France, a été réajustée en fonction de la feuille de route globale et en cohérence avec la date de la montée en puissance

SOURCE : équipe de l'étude Hydrogène France

Transports

Dans le secteur des transports, une montée en puissance permettra d'aboutir à un parc d'environ 10 000 FCEV[6] en 2023 et environ 200 000 en 2028. Ces chiffres incluent les modèles hybrides (à batteries et à piles à combustible), qui doivent concourir tout particulièrement à la montée en puissance voulue sur le segment des fourgonnettes. Sur les segments des flottes captives[7] tels que celui des taxis ou des véhicules utilitaires, une voiture sur 50 vendues en 2023 et une sur 10 en 2028, pourrait être un FCEV. Les transports publics, et notamment les autobus et les trains, constitueront aussi des segments phares dans l'adoption de l'hydrogène[8,9]. La montée en puissance des FCEV dépend de quatre facteurs critiques : la rapidité du déploiement des infrastructures, le développement des coûts pour les FCEV et les technologies associées, l'adoption des solutions hydrogène pour les flottes commerciales et publiques, et l'intérêt manifesté par les constructeurs automobiles français.

- Pour l'infrastructure de recharge, notre modèle suppose de passer de 20 stations actuellement à environ 400 stations à hydrogène sur les 10 prochaines années. Il est essentiel de déployer simultanément les flottes de véhicules et leur infrastructure de recharge afin d'éviter les situations où les stations hydrogène sont sous-utilisées et donc coûteuses dans les bilans, ou au contraire les stations sont rares et éloignées des FCEV.
- Les coûts des FCEV et des technologies concurrentes évolueront dans le temps et, suivant les améliorations qui seront réalisées sur les coûts, les technologies pourront prendre différentes parts de marché.
- Dans notre modèle, les flottes commerciales et publiques jouent également un rôle déterminant, avec une montée en puissance accélérée - par rapport aux voitures particulières - pour les taxis, les autobus et les flottes de fourgonnettes. Ces derniers sont particulièrement importants, car le parc global de véhicules utilitaires légers et de véhicules lourds de la France (avec 7 millions de fourgonnettes, soit plus du double du parc allemand) se prête particulièrement à l'adoption des technologies à piles à combustible.
- Le dernier facteur – l'implication des constructeurs automobiles français sur le marché national– comporte de grandes incertitudes. Les constructeurs automobiles français n'ont en effet pas participé à la première vague de déploiement des FCEV. Cet aspect est pris en compte dans la présente étude. Cependant, la multiplication de modèles électriques dans les feuilles de route des constructeurs français sera un excellent tremplin pour le développement des véhicules électriques à hydrogène, étant entendu que pour atteindre les objectifs de décarbonation du transports, les deux technologies de véhicules électriques à

6/Ce chiffre inclut les voitures particulières et les fourgonnettes / véhicules utilitaires légers – 7/Flottes captives : flottes dont le trajet est connu ou prévisible – 8/Conseil d'orientation des infrastructures, rapport Duron 2018 – 9/La CATP a clôturé mi-février un appel à candidature pour les bus à hydrogène et devrait lancer prochainement un appel d'offres sur ces même bus à hydrogène.

batterie et à hydrogène sont complémentaires et seront toutes les deux nécessaires.

Hormis le transport routier, l'hydrogène pourrait investir également le transport ferroviaire et maritime au cours des 10 prochaines années. Des trains, des ferries et autres navires à hydrogène sont en cours de développement et de déploiement. En outre, une fois qu'ils auront été admis à rouler sur les voies françaises, des trains à pile à combustible (dont les premiers sont déjà en production chez un constructeur français) pourraient a priori entrer en exploitation à l'horizon 2028.

De leur côté, les navires à hydrogène permettraient de supprimer totalement le bruit et les émissions locales dans les ports et sur les rivières et les lacs. De premiers projets portant sur des ferries, en France, ont déjà été lancés, et l'adaptation de l'hydrogène aux bateaux de croisière fluviale ou océanique entraînerait une demande importante (1 à 10 tonnes d'hydrogène par jour), favorisant par conséquent le développement de la supply chain de l'hydrogène.

Chauffage et électricité des bâtiments

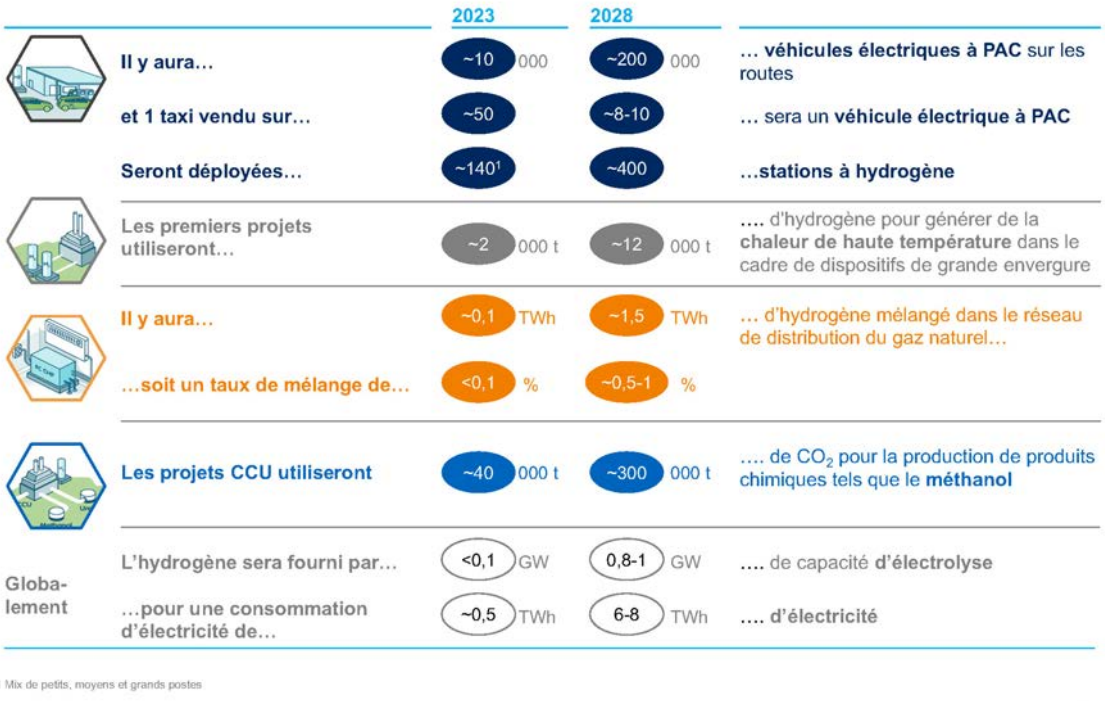
Dans le secteur du bâtiment, résidentiel ou tertiaire, nous croyons dans les projets de démonstration à l'échelle, sur les 5 prochaines années, permettant d'atteindre l'injection de 1 à 2 TWh dans le réseau de gaz naturel d'ici 2028. L'étude de l'injection d'hydrogène dans ce réseau a d'ores et déjà commencé, avec plusieurs premiers projets de démonstration portant sur la transformation de l'électricité en gaz, tels que le projet GRHYD mené à Dunkerque ou le projet Jupiter1000 à Fos. Les prochaines étapes consisteraient à déployer des projets de plus grande envergure en vue de tester des injections massives d'hydrogène dans les réseaux de transport et de distribution. Notons à cet égard que 1 à 2 TWh d'hydrogène mélangé à du gaz naturel pourrait constituer en 2028 entre 0,5 et 1% de l'énergie fournie aux bâtiments par le réseau de gaz naturel. A ces taux de concentration, aucune modification n'est à apporter aux infrastructures ni aux équipements. Néanmoins, les modifications importantes devant se planifier près de 10 ans à l'avance, il faudrait prendre les mesures nécessaires dès 2030, pour envisager l'intégration de volumes d'hydrogène plus importants aux alentours de 2040 (réseaux dédiés ou méthanation).

Energie et matière première pour l'industrie

Du côté de l'industrie, l'utilisation de l'hydrogène pour la génération de chaleur ne devrait pas progresser de manière significative au cours des 10 prochaines années, en raison de la sensibilité du coût de la production industrielle. Les premiers projets de démonstration à grande échelle pourraient cependant ouvrir la voie à l'utilisation de l'hydrogène pour la chaleur à haute température, par exemple dans les industries qui produisent de l'hydrogène comme co-produit.

Nous entrevoyons aussi des utilisations nouvelles de l'hydrogène propre comme matière première pour les industries chimique et sidérurgique. Il serait possible, en 2028, de convertir plus de 300 000 tonnes de CO_2 en méthanol et autres produits chimiques. Parallèlement, de premiers projets de démonstration à grande échelle pourraient produire de l'acier suivant un procédé de réduction directe du minerai de fer à base d'hydrogène.

Figure 5 : Des jalons à court et moyen terme cohérents avec la vision à long terme



1 Mix de petits, moyens et grands postes

L'hydrogène permettra de réaliser la transition énergétique, améliorera la qualité de l'air et renforcera l'économie française

Décarbonation et émissions locales

L'hydrogène produit de manière décarboné pourrait réduire de **~55 Mt les émissions de CO_2 en France en 2050.** Cette réduction comblerait près d'un tiers de l'écart qui existe entre les émissions correspondant au scénario technologique de référence de l'UE (qui n'intègre que les politiques actuelles) et le niveau requis par les engagements pris par la France dans le cadre de l'Accord de Paris (le "Plan Climat").

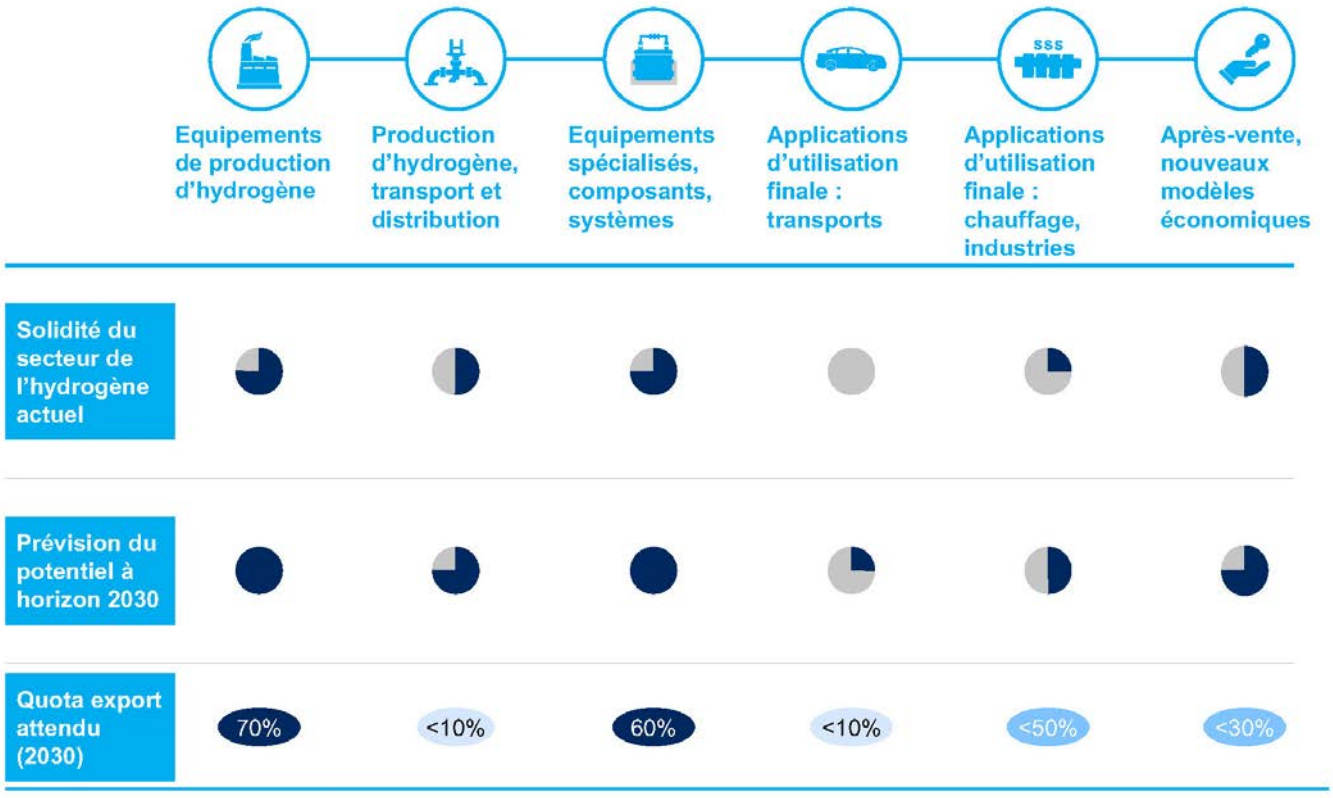
L'hydrogène présenterait aussi l'avantage d'améliorer nettement la qualité de l'air dans les villes, car les applications à pile à combustible, à la fois dans les transports et dans les autres secteurs, n'émettent pas de particules ni d'oxyde d'azote ni d'oxyde de soufre et minimisent également le bruit. A cet égard, la montée en puissance des véhicules à pile à combustible jusqu'en 2050 pourrait **réduire les polluants atmosphériques** de plus de **70 000 tonnes d'oxyde d'azote** et **60 000 tonnes de CO** par an.

Impact sur l'économie française

Notre vision pour 2050 créerait en France un secteur de l'hydrogène dont le **marché** représenterait plus de **20 à 25 Md€** et n'emploierait pas moins de **150 000 personnes.** Cette projection repose à la fois sur une modélisation macroéconomique et sur une enquête effectuée auprès de 25 entreprises actives tout au long de la chaîne de valeur de l'hydrogène. Si dans un scénario de maintien du statu quo les répondants entrevoient une croissance relative de l'hydrogène sans doute liée à la dynamique internationale, ils voient dans un scénario de mise en œuvre de politiques favorables à l'hydrogène une **multiplication par 3** du chiffre d'affaires et du nombre d'emplois créés, qui au total conduiraient à une **multiplication par 20** de la taille du secteur sur une période de dix ans.

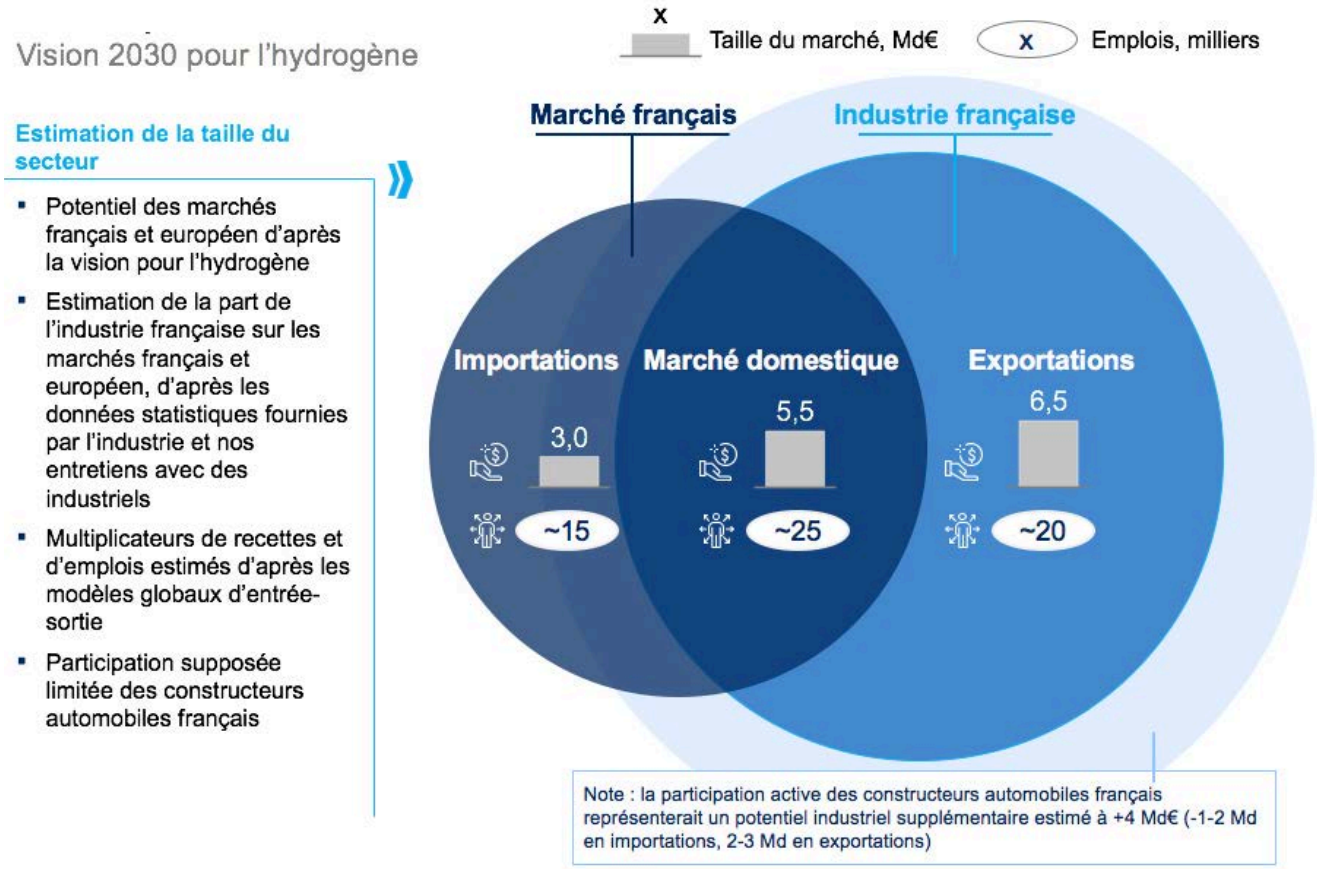
L'industrie française a le potentiel nécessaire pour devenir l'un des plus grands fournisseurs mondiaux de technologies de l'hydrogène. Si les constructeurs automobiles français n'ont, pour l'heure, pas signalé leur intention de produire des véhicules électriques à pile à combustible (FCEV), la France compte par ailleurs dans sa filière automobile de solides fournisseurs de matériaux et de composants pour les systèmes de pile à combustible. La France est en outre très bien positionnée dans le domaine du développement et de la fabrication d'équipements pour la production, la distribution, le stockage et l'acheminement de l'hydrogène. Sur ces deux segments, les sociétés pensent exporter une grande partie de leur production, ce qui laisse entrevoir un potentiel global d'environ 15 Md€ d'exportations en 2050.

Figure 6 : L'industrie française est bien positionnée pour être compétitive sur les marchés internationaux, notamment d'équipements de production d'hydrogène et de composants



SOURCE : Réponses à l'enquête effectuée auprès de 25 entreprises / membres de l'AFHYPAC

Figure 7 : D'ici 2030, stimulée par les exportations d'équipements et de composants, la production de l'industrie française pourrait dépasser la taille du marché intérieur



SOURCE : Réponses à l'enquête effectuée auprès de 25 entreprises / membres de l'AFHYPAC

JALONS D'ICI 2030

D'importants bénéfices peuvent être obtenus d'ici 2030 *(voir la figure 7)* :

- ~8-9 Md€ de chiffre d'affaires annuel potentiel pour l'hydrogène et ses applications sur le marché français ;
- ~12 Md€ de chiffre d'affaires annuel potentiel de l'industrie française, y compris 6-7 Md€ d'exportations potentielles d'équipements, de composants et de matériaux spécialisés ;
- ~45 000 emplois ou plus maintenus durablement dans le secteur ;
- ~10 à 12 millions de tonnes d'émissions de CO_2 en moins.

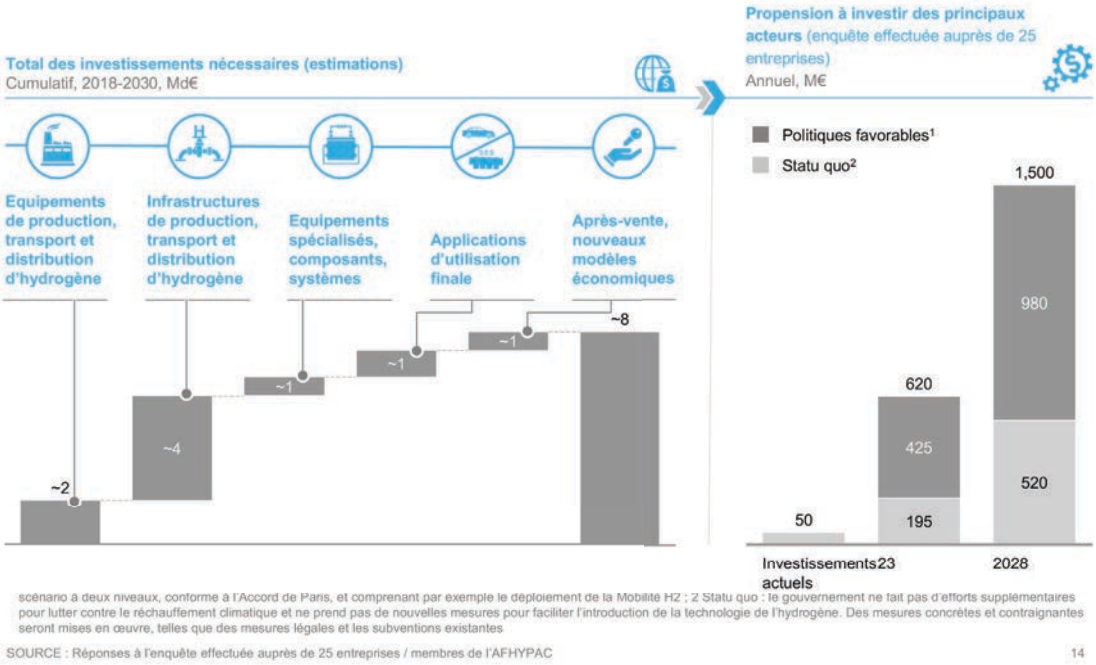
Investir environ 5 à 10 Md€ dans les équipements, l'infrastructure et la réduction des coûts et établir un cadre réglementaire équitable et stable à long terme

L'hydrogène pourrait profiter aux citoyens Français, à l'environnement français et à l'Economie française. Les efforts qui sont actuellement fournis pour développer plus largement l'utilisation de l'hydrogène ne sont cependant pas suffisants pour permettre au pays de réaliser cette vision. La France ne pourra en effet s'assurer l'ensemble des bénéfices décrits ici que dans la mesure où les investisseurs, les pouvoirs publics et les industriels de toute la chaîne de valeur feront un pas déterminant dans le sens de la transition voulue.

Industrie : investissements et réductions de coût dans la filière

Nous pensons que l'industrie devrait investir d'ici 2030 environ **5 à 10 Md€** dans le développement de nouvelles infrastructures et d'équipements, la mise à l'échelle des moyens de production ainsi que dans la R&D. Ces investissements sont nécessaires pour accroître la disponibilité de l'hydrogène et réduire les coûts des technologies de l'hydrogène et des piles à combustible. Nos estimations des investissements à réaliser comprennent environ 1,5 Md€ pour le développement et le déploiement des moyens de production de l'hydrogène, environ 4 Md€ pour le développement et le déploiement des infrastructures de stockage et de distribution de l'hydrogène (dont près de 750 M€ pour la construction de plus de 600 stations à hydrogène), environ 2 Md€ pour le développement et la production des composants et systèmes nécessaires aux applications d'utilisation

Figure 8 : Les industriels se disent prêts à porter leurs investissements aux niveaux requis, sous réserve qu'un cadre réglementaire stable et équitable soit établi



finale et environ 500 M€ pour les nouveaux modèles économiques, tels que les flottes de taxis à hydrogène.

L'investissement annuel global nécessaire, d'environ **650 M€,** représente un nouveau palier, plus élevé que les niveaux d'investissement actuels, mais ne constitue qu'une petite partie du volume d'investissement global des secteurs français de l'énergie, de l'automobile et des machines. L'enquête que nous avons réalisée auprès de 25 acteurs de la chaîne de valeur de l'hydrogène française indique qu'ils sont prêts à faire le pas : sous réserve qu'un cadre réglementaire partagé par les acteurs, de long terme, équitable et incitatif soit établi, ces acteurs se sont déclarés prêt à augmenter leurs investissements pour les porter, tous confondus, à 1,5 Md€ en 2028. Dans le cadre des politiques actuelles, seul un tiers de ce montant pourrait être investi.

Or, il est nécessaire que les investissements et la production montent à présent en puissance, pour **réduire les coûts** et rendre compétitives les solutions hydrogène, par rapport aux autres technologies à faible intensité encarbone. Des études internationales montrent en effet qu'il est possible de réduire les coûts à hauteur de 60 % que ce soit pour la production/transport/distribution de l'hydrogène, les infrastructures ou encore les piles à combustible, sous réserve d'augmenter significativement les volumes de production.

POUVOIRS PUBLICS ET RÉGLEMENTATION

L'utilisation de l'hydrogène décarboné a un intérêt systémique sur l'ensemble du système énergétique d'un pays, incluant les transports, l'industrie, les bâtiments, ce avec des retombées économiques non négligeables, si tant est que tous les acteurs concernés, publics comme privés, travaillent de concert. C'est ce que tend à montrer cette étude. Pour cela doivent être mis en place de la part des pouvoirs publics :

- **Un cadre réglementaire adapté, stable et équitable, incluant une coordination de long terme et des politiques incitatives.**
- **Des initiatives de déploiements à grande échelle soutenues par un cadre politique de long terme permettant la réduction des coûts des principales technologies.**
- **Des incitations aux investissements privés de long terme.**

L'AFHYPAC remercie les entreprises membres pour leur participation à l'enquête

Association française
pour l'hydrogène et
les piles à combustible

Informations

www.afhypac.org

Contact
info@afhypac.org

28, rue Saint-Dominique
75007 Paris

T. +33 (0)1 44 11 10 04

© ALPHY CRÉATION | crédits photos : ©Alstom - Air Liquide - Fotolia - McPhy | impression : ALPHY CRÉATION