



Plan de **déploiement**
de **l'hydrogène**
pour la **transition**
énergétique



INTRODUCTION

L'hydrogène est actuellement utilisé en raison de ses propriétés chimiques dans l'industrie pétrolière et dans l'industrie chimique.

Cette molécule présente cependant un intérêt énergétique majeur qui n'est pas exploité aujourd'hui. Il peut être utilisé pour la production d'énergie sur le réseau, ou dans les transports, et c'est une solution pour le stockage de l'énergie, notamment de l'électricité, ce qui sera le défi des systèmes énergétiques du 21^e siècle. L'hydrogène comme vecteur énergétique représente ainsi un enjeu scientifique, environnemental et économique.

Grâce aux progrès de la technologie de l'électrolyse, il peut être produit de façon décarbonée, économique et contribuer aux objectifs que la France s'est fixée en matière de développement des énergies renouvelables, de réduction des émissions de gaz à effet de serre et des polluants et de réduction des consommations d'énergie fossile.

La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte a fixé comme objectifs d'atteindre en 2030 un taux de 32% d'énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie et de 40% d'énergies renouvelables dans la production d'électricité. La loi fixe également l'objectif de réduire la consommation des énergies fossiles de 30% en 2030 et de décarboner 10% du gaz. L'hydrogène constitue un levier intéressant pour l'atteinte de ces objectifs mais surtout un levier essentiel pour la poursuite de la transition énergétique vers la neutralité carbone à l'horizon 2050.

En outre, au regard de l'objectif d'autonomie énergétique à 2030 dans les zones non interconnectées (ZNI) et des besoins forts pour la flexibilité des réseaux, ces territoires sont identifiés comme prioritaires pour des expérimentations et déploiements pilotes dans le domaine du stockage et notamment de l'hydrogène. A plus long terme, lorsque le taux d'énergies intermittentes sera élevé sur le réseau hexagonal, l'hydrogène pourra jouer un rôle clef dans sa stabilisation.

Le plan hydrogène présenté par Nicolas Hulot, ministre d'Etat, ministre de la Transition écologique et solidaire a pour objectif d'accompagner l'innovation et les premiers déploiements industriels de l'hydrogène décarboné, pour être prêt à en faire un pilier de la transition énergétique à moyen terme. Il fixe ainsi des objectifs de développement de l'hydrogène dans la transition énergétique.

Il repose sur les forces de la filière française, particulièrement présente dans la production d'hydrogène, et cherche avant tout à « verdir » les usages industriels existants de l'hydrogène, en commençant par les usages les plus proches de la rentabilité économique. En capitalisant sur ces développements, il sera alors possible de développer les nouveaux usages, liés à la mobilité, d'abord autour de flottes captives, puis de stockage de l'énergie renouvelable dans le réseau de gaz, lorsque le besoin apparaîtra.

Ce plan nourrira la stratégie du Gouvernement en matière d'hydrogène qui aura vocation à se traduire en particulier dans la Programmation Pluriannuelle de l'énergie (PPE) pour la période 2019-2028, et dans les PPE qui seront réalisées pour chacune des zones non interconnectées au réseau métropolitain.

L'hydrogène en France : état des lieux

L'hydrogène ou dihydrogène (H₂) se présente comme un gaz invisible et inodore. De tous les éléments chimiques, c'est le plus léger. C'est également l'élément chimique le plus abondant dans l'univers. Sur Terre, il est rarement présent à l'état pur, mais il entre dans la composition de l'eau et des hydrocarbures.

L'hydrogène n'est pas une source d'énergie mais un « **vecteur énergétique** ». Il doit être produit puis stocké avant d'être utilisé.

L'énergie contenue dans l'hydrogène peut être récupérée de 2 manières :

- **En le brûlant** : la combustion d'un kilo d'hydrogène libère trois fois plus d'énergie que celle d'un kilo d'essence et ne produit que de l'eau ;
- **Par une pile à combustible** : l'hydrogène couplé à un apport d'air et introduit dans une pile à combustible permet de produire de l'électricité en ne rejetant que de l'eau.

Les propriétés de l'hydrogène permettent de l'utiliser de différentes façons, selon la façon dont il est produit :

- Dans le réseau de gaz mélangé au méthane pour faire de la chaleur ;
- Dans une voiture comme carburant d'un véhicule à motorisation électrique (l'électricité est produite par une pile à combustible directement dans le véhicule) ;
- Sur le réseau électrique, pour produire de l'électricité.

L'hydrogène peut aussi intervenir dans le domaine de la chimie, l'hydrogène y est ainsi valorisé pour ses propriétés chimiques :

- Dans les secteurs du raffinage d'hydrocarbures, de la production d'engrais, et certains usages de la chimie, on utilise l'hydrogène comme matière première ;
- L'hydrogène mélangé au CO₂ produit du méthane de synthèse, molécule identique au gaz naturel, qui peut être utilisé comme gaz.

Le marché mondial de l'hydrogène est aujourd'hui essentiellement un marché industriel : l'hydrogène est un produit utilisé par les procédés dans l'industrie pétrolière et dans l'industrie chimique. Le marché mondial de l'hydrogène industriel est estimé aujourd'hui à 60 Mt et **le marché français est lui estimé à près de 1 Mt.**

En France, la production d'hydrogène industriel représente plus de 900 000 tonnes par an. Les trois marchés les plus importants sont la désulfuration de carburants pétroliers (60%), la synthèse d'ammoniac principalement pour les engrais (25%) et la chimie (10%). **Il est produit à 94% à partir d'énergies fossiles en France** (gaz, charbon, hydrocarbures). La production d'hydrogène est responsable de l'émission de 11,5 Mt de CO₂ en France, soit environ **3 % des émissions nationales.**

L'hydrogène peut cependant être produit de façon décarbonée et économique grâce aux progrès de la technologie de l'électrolyse, qui consiste à séparer une molécule d'eau en hydrogène (H₂) et en oxygène (O₂) par un apport d'électricité, à condition que l'électricité ayant servi à le produire soit elle-même produite sans utiliser des énergies fossiles. La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau

apportera à terme une solution structurante pour l'intégration des énergies renouvelables au système électrique.

Des industriels étudient par ailleurs la possibilité de produire à grande échelle de l'hydrogène décarboné, mais non renouvelable, à partir de méthane fossile dont le CO₂ émis lors de la production d'hydrogène serait capté et stocké dans le sous-sol, en particulier en mer du Nord.

Produit de manière décarbonée, l'hydrogène va ainsi permettre d'accélérer la décarbonation de plusieurs usages, dans l'industrie, la mobilité, et les réseaux gaz.

L'hydrogène peut donc servir les objectifs que la France s'est fixés en matière de développement des énergies renouvelables et de réduction des émissions de gaz à effet de serre et des polluants.

La feuille de route hydrogène se structure ainsi autour des 3 axes suivants : l'industrie, la mobilité et l'énergie.

L'hydrogène comme fondement d'un cercle économique et environnemental vertueux

Le plan d'actions proposé se décline sur les 3 axes suivants avec des démarrages progressifs :

/// AXE 1 : Production d'hydrogène par électrolyse pour l'industrie, phase d'amorçage du plan français

Les industries comme la raffinerie et la chimie, sont très consommatrices d'hydrogène, aujourd'hui produit par des technologies fortement émettrices de gaz à effet de serre. Il est donc fondamental de proposer une technologie alternative de production de l'hydrogène.

L'électrolyse de l'eau est une solution disponible et accessible dès aujourd'hui. Le déploiement de cette technologie est rendue possible grâce à la réduction du coût des électrolyseurs au cours de ces dernières années. Les analyses montrent que la compétitivité de l'hydrogène « décarboné » ou « vert » (c'est-à-dire uniquement produit à partir d'énergies renouvelables) pourrait être atteinte **à l'horizon 2035**.

Cette compétitivité dépendra de la technologie d'électrolyse utilisée. Le potentiel des technologies par membrane à échange de protons (PEMFC) et alcaline est maintenant bien établi, mais la technologie à haute température, la plus récente, est celle qui est la plus prometteuse en termes de compétitivité en raison de ses meilleurs rendements. La France possède une avance technique reconnue par les industriels sur cette technologie, dont il faut maintenant accélérer la montée en puissance pour disposer d'une avance compétitive.

Le plan français propose de démarrer la courbe d'apprentissage de la filière électrolyse sur la production de l'hydrogène à usage industriel en mettant en place des dispositifs de soutien public au déploiement, qui viendront en complément des soutiens déjà existants sur la R&D et l'innovation.

/// AXE 2 : Une valorisation par des usages de la mobilité en complémentarité des filières batterie

Le développement de la mobilité propre est un des principaux objectifs de la transition énergétique. Les solutions basées sur l'hydrogène complètent celles reposant sur une électrification « tout batterie », notamment pour les usages nécessitant des temps de rechargement rapides, des grands rayons d'action ainsi que pour les transports lourds. Les progrès technologiques réalisés permettent d'envisager des déploiements à grande échelle.

L'hydrogène devra également être valorisé dans les usages de mobilité de manière complémentaire aux batteries.

/// AXE 3 : Un élément de stabilisation des réseaux énergétiques sur le moyen-long terme

L'introduction de l'hydrogène dans les réseaux de gaz naturel constitue une opportunité de réduction de l'utilisation de combustible fossile importé. Ce principe est à l'étude notamment aux Pays-Bas où il est même envisagé de remplacer les gaz naturels par l'hydrogène, mais aussi en France au travers des projets d'expérimentation GRHYD et JUPITER 1000.

Un groupe de travail avec les industriels concernés devra être missionné pour préciser les données technologiques et les mesures réglementaires qu'il convient de mettre en œuvre pour permettre l'injection d'hydrogène dans les infrastructures gazières, avec une première restitution avant fin 2018.

A moyen terme, l'hydrogène pourra contribuer à la flexibilité du système électrique en apportant un mode de stockage notamment saisonnier, nécessaire lors d'une intégration accrue des énergies renouvelables non pilotables

A un horizon plus lointain (>2035), l'hydrogène sera un élément de stabilisation des réseaux énergétiques. Outre les expérimentations d'injection d'hydrogène dans les réseaux de gaz à accélérer, des premières expérimentations et premiers déploiements de services au réseau électrique pourront être lancés dans les zones interconnectées (ZNI) dont le contexte différent rend cette technologie potentiellement plus intéressante plus rapidement.

/// AXE 1 : Production d'hydrogène par électrolyse pour l'industrie, phase d'amorçage du plan français

Une forte baisse des coûts des électrolyseurs permettant d'envisager dès aujourd'hui différents marchés

Les technologies d'électrolyse arrivent à maturité, en témoigne notamment la baisse des coûts observée ces dernières années (**division par 4 depuis 2010** pour la technologie par membrane à échange de protons « Proton Exchange Membrane », dite PEM), ce qui a complètement modifié la donne économique. Les perspectives d'innovation et d'industrialisation et les économies d'échelle associées sont la clé pour continuer à faire baisser les coûts de manière importante.

L'hydrogène produit par électrolyse revient aujourd'hui aux environs de **4 €/kg à 6 €/kg** en fonction de la technologie d'électrolyse et pour une durée d'utilisation de l'ordre de 4 000 à 5 000 h par an et un coût de l'électricité autour de 50€/MWh.

Ce coût pourrait atteindre, à l'horizon 2028 de la PPE, 2 à 3 €/kg, ordre de grandeur comparable au prix aujourd'hui payé par les grands industriels consommateurs d'hydrogène.

Pour consolider cette filière naissante, il est nécessaire de poursuivre la courbe d'apprentissage des différentes technologies d'électrolyseurs et de positionner l'offre française sur différents marchés, à la fois par le soutien à la R&D et par des premières séries de déploiement pour atteindre le stade des centaines de MW cumulés, seuil représentatif des cas d'usage futurs.

Différentes technologies d'électrolyse sont aujourd'hui disponibles, principalement les technologies « PEM » et « Alcalines ». La technologie d'électrolyse haute température, maîtrisée par la France¹, présente quant à elle, l'avantage de diminuer les coûts de production de l'hydrogène de 15% et d'atteindre une efficacité de 60% sur le « power-to-gas-to-power » comparé à 25% aujourd'hui. Il faut maintenant qualifier cette technologie sous trois ans pour avoir une avance compétitive à l'échelle significative du MWe.

Une stratégie d'amorçage sur le marché de l'hydrogène industriel

L'hydrogène décarboné peut significativement diminuer l'empreinte carbone de la filière « hydrogène industriel », sous réserve de pouvoir concurrencer, dans un contexte de prix du carbone suffisant, l'hydrogène produit à base d'énergies fossiles via des solutions d'électrolyse à haute performance et en exploitant des énergies renouvelables électriques à bas coût.

Par ailleurs, le marché de l'hydrogène industriel offre un volume suffisamment important pour pouvoir permettre un développement en grande série d'électrolyseurs et ainsi de réaliser les économies d'échelle qui permettront de réduire les coûts.

¹ Le CEA présente le portefeuille de brevets le plus important au monde, dans ce domaine, avec 30 brevets.

Pour développer le potentiel de l'hydrogène décarboné sans attendre, deux types d'industries sont particulièrement concernées :

- Les industries qui consomment de l'hydrogène comme intrant (verrerie, sidérurgie etc.) ;
- Les industries qui produisent massivement du CO₂ (par exemple celle du ciment, qui représente environ 4% des émissions mondiales), et pourraient le valoriser avec de l'hydrogène en produisant du méthane de synthèse.

Un cercle vertueux pourrait alors s'enclencher, ces nouveaux marchés d'utilisation d'un hydrogène « vert » à coût abordable offrent ainsi de nouvelles opportunités de le valoriser en constituant une stratégie d'amorçage solide.

Le coût de revient de l'hydrogène produit en grande quantité à partir de produits fossiles (vaporeformage du gaz) s'élève aujourd'hui entre 1,5 et 2,5 €/kg pour des clients industriels consommant de gros volumes (ex : raffineries). Mais pour certains usages moins intensifs mais suffisamment stables (ex : verrerie, agroalimentaire, métallurgie, électronique), pour lesquels l'hydrogène est transporté et acheminé par camion, dits « usages industriels diffus », l'hydrogène peut revenir aux alentours de 10 à 20 €/kg, rarement en dessous de 8 €/kg. **Il y a donc un potentiel de marché accessible dès aujourd'hui pour de l'hydrogène produit localement par électrolyse. Ce marché ne se développe pas en raison des investissements à réaliser et des risques technologiques résiduels pour les industriels, autant d'obstacles que l'Etat peut contribuer à dépasser.**

Ce marché est estimé aujourd'hui à 200 kt d'hydrogène par an, soit 20% du marché de l'hydrogène en France **ce qui permettrait d'éviter la production de 2 millions de tonnes de CO₂ par an.**

Un bon équilibre devra être trouvé entre des usages diffus, pour lesquels le prix actuel à concurrencer est plus élevé mais qui impliquent une industrialisation plus compliquée (hétérogénéité des configurations, pouvant faire monter les coûts) et des usages plus massifs, pour lesquels l'écart de prix à compenser est plus important mais qui peuvent permettre de rapidement installer des séries d'électrolyseurs et d'augmenter la puissance. Par ailleurs, le fait de passer à une production d'hydrogène sur site entraîne des changements en termes d'installation, d'opération et de maintenance, pour les petits industriels par rapport à leur offre d'approvisionnement habituelle. Ces facteurs ne sont pas à négliger malgré l'intérêt économique qui est devenu réel.

Pour amorcer le déploiement d'une première série d'électrolyseurs, il est proposé de mettre en place un soutien à l'investissement.

En effet, en plus du changement dans la chaîne d'approvisionnement, l'investissement initial dans l'électrolyseur, qui peut être considéré comme une stratégie d'approvisionnement plus risquée, reste l'un des principaux freins à la conversion de ces usages, car le modèle économique serait d'ores et déjà compétitif ou proche de l'être.

L'objectif de production d'hydrogène décarboné dans les usages de l'hydrogène industriel qui guidera l'action du Gouvernement sera :

- 10 % en 2023
- 20 à 40 % en 2028.

Il sera accompagné par la mise en place en 2020 d'un système de traçabilité sur l'origine de l'hydrogène, afin que cet hydrogène décarboné ou produit à partir d'énergies renouvelables puisse être valorisé par les acteurs.

/// AXE 2 : Une valorisation par des usages de la mobilité en complémentarité des filières batterie

L'hydrogène stocké et embarqué dans un réservoir sous forme comprimée constitue une réserve d'énergie pour un véhicule à traction ou à propulsion électrique. L'hydrogène y est converti en électricité et en chaleur via une pile à combustible, qui alimente le moteur électrique, ainsi que l'habitacle pour le chauffage. La chaîne de traction des véhicules électriques qui mettent en œuvre une pile à hydrogène associe généralement une batterie.

L'hydrogène dans la mobilité est complémentaire aux batteries et au bioGNV. Il présente des avantages clés pour les usages intensifs qui nécessitent une forte autonomie et un faible temps de recharge, particulièrement en milieu urbain où des mesures sont prises pour réduire la pollution et les nuisances sonores. De nombreux projets voient déjà le jour dans les territoires autour de flottes de véhicules professionnels légers.

En raison d'un effet volume encore limité, le coût total de possession d'un véhicule hydrogène reste supérieur à celui des équivalents thermiques (entre 20% et 50%). A l'horizon 2030, grâce notamment aux progrès espérés en termes de coût de l'électrolyse, l'hydrogène décarboné distribué en station devrait être à un niveau de prix comparable (< 7 €/kg) au coût de l'énergie pour un véhicule diesel.

Ces avantages se retrouvent surtout dans certains transports lourds (routier, ferroviaire et fluvial), pour lesquels le poids, l'encombrement et l'énergie embarquée des batteries restent pénalisants. Ces transports lourds sont un levier majeur pour assurer rapidement des consommations de volumes d'hydrogène importants et engendrer un écosystème autonome par des économies d'échelle en permettant de déployer plus rapidement des stations de taille importante. C'est un point clé du modèle économique des stations de recharge.

Pour développer la mobilité à partir d'hydrogène, il faudra :

- accompagner le développement d'une gamme de véhicules lourds routiers mais aussi pour d'autres modes (bateaux, trains, aéronautique).
- poursuivre la logique de flottes territoriales, sur la base de l'hydrogène produit dans la phase d'amorçage. A ce titre, le rôle des collectivités pour agréger les usages au sein de projets territoriaux, autour des industriels et des utilisateurs présents sur leur territoire est primordial. D'autres usages pourront d'ailleurs être envisagés dans ces projets territoriaux (par exemple, mise en commun d'usages industrie/mobilité).

Si le développement de la production d'hydrogène par électrolyse répond parfaitement aux nouvelles attentes des territoires, il favorise aussi l'émergence d'écosystèmes hydrogène locaux – c'est-à-dire la combinaison d'un plan de déploiement de la mobilité conçu avec une optique d'aménagement du territoire, d'un recours aux énergies renouvelables produites localement et d'un système financier pour couvrir les risques de commercialisation.

Les porteurs de projets, entreprises privées ou collectivités territoriales, soulignent le besoin de bénéficier d'un interlocuteur privilégié au niveau national. Ils souhaitent pouvoir être accompagnés sur le montage de leurs projets et soulignent un besoin de coordination globale des parties prenantes.

Une mission d'accompagnement des projets sera confiée à l'ADEME, qui aura alors comme rôle d'orienter les porteurs vers les bons interlocuteurs institutionnels, notamment pour les questions réglementaires ou de financement, d'aider les collectivités territoriales – en partenariat avec les industriels - à structurer et piloter des déploiements d'écosystèmes hydrogène, d'assurer un rôle de mise en cohérence des sujets relatifs à l'hydrogène. Ces actions pourraient être déclinées localement grâce à aux délégations territoriales de l'ADEME.

Les moyens dédiés à l'hydrogène contribueront également à ce déploiement d'écosystèmes expérimentaux en prenant en charge des différences de coûts avec les solutions actuelles.

Enfin, sur le volet réglementaire, le travail important réalisé jusque-là pour clarifier les réglementations relatives à la sécurité et à la prévention des risques devra se poursuivre pour faciliter les déploiements.

D'ici mi-2018 un cadre spécifique pour les stations-services distribuant de l'hydrogène sera notamment mis en place.

/// AXE 3 : Un élément de stabilisation des réseaux énergétiques sur le moyen-long terme

En tant que vecteur énergétique, l'hydrogène produit par électrolyse est à long terme une solution structurante pour l'intégration des énergies renouvelables au système électrique : il est le moyen de stockage massif inter-saisonnier des énergies renouvelables électriques intermittentes le plus prometteur. Outre le stockage sous forme d'hydrogène, les pistes les plus prometteuses sont le « power-to-gas », qui consiste en l'injection directe d'hydrogène dans les réseaux gaziers, ou en la conversion de l'hydrogène en méthane de synthèse, après combinaison avec du CO₂, pour injection dans les réseaux gaz.

Ce type de besoin émerge d'ores et déjà dans les pays ayant des taux de déploiement d'énergies renouvelables très importants, surtout sur des réseaux isolés. Les électrolyseurs sont également capables de rendre d'autres services au réseau électrique, au même titre que d'autres technologies de stockage ou d'autres moyens de flexibilité (pilotage de la demande, développement des interconnexions).

Dans les zones non interconnectées (ZNI), les taux d'intégration des énergies renouvelables intermittentes sont déjà élevés et les moyens de flexibilité sont faibles. **L'hydrogène pourrait donc trouver sa place, avec d'autres technologies de stockage**, dans ces territoires en tant que vecteur de flexibilité du système électrique, ce qui permettrait la réalisation de pilotes, en vue d'attaquer les marchés à l'export, notamment dans les zones dans lesquelles développer des infrastructures de transport et de distribution d'électricité est particulièrement coûteux ou encore dans des sites isolés.

Enfin l'injection de l'hydrogène décarboné dans les réseaux de gaz pouvant avoir un impact positif dans la réduction des émissions de CO₂ du système gazier et l'indépendance énergétique, il est indispensable d'en évaluer le potentiel dans le cadre de la PPE.

Les électrolyseurs sont en mesure d'apporter immédiatement des services aux réseaux électriques et un débouché supplémentaire au développement des énergies renouvelables. Les réseaux des ZNI étant les plus rapidement concernés par de forts taux d'énergies renouvelables dans leurs réseaux ou encore pour leurs sites isolés, des expérimentations pourront être lancées rapidement dans ces territoires.

Pour la métropole continentale, il sera ainsi demandé à RTE et ENEDIS d'identifier les services rendus au réseau par les électrolyseurs et les moyens existants ou à mettre en place pour valoriser ce type de service.

Il sera également demandé à EDF SEI et à l'ADEME de caractériser, pour chaque ZNI, les services que peuvent rendre les électrolyseurs afin de permettre aux collectivités concernées de prévoir dans leurs PPE des mesures et objectifs spécifiques concernant le stockage et l'hydrogène.

Afin de préparer l'arrivée du power-to-gas, les transporteurs et distributeurs de gaz devront déterminer les conditions techniques et économiques (gisements, verrous techniques, sécurité, bilan environnemental, etc.) d'injection d'hydrogène acceptables pour les réseaux, pour les installations qui y sont raccordées et pour les usages (dont la mobilité gaz), en lien avec les fabricants. Il sera tenu compte des expérimentations en cours (GRHYD et JUPITER 1000). Deux rapports intermédiaires sont attendus pour l'automne puis pour la fin de l'année 2018. Le rapport final devra être rendu mi-2019.

Des moyens pour accompagner les premiers déploiements

Des moyens dédiés à l'hydrogène seront mobilisés par l'ADEME pour permettre les premiers déploiements selon les 3 axes présentés précédemment. Ils seront intégrés dans une logique de continuité avec sa mission d'accompagnement.

Les projets seront sélectionnés sur la base d'un appel à projet lancé en 2018. Le gouvernement mobilisera 100 M€ à partir de l'année 2019. L'objectif du Ministre de la Transition écologique et solidaire est d'atteindre un financement régulier de 100 M€/an en faveur de l'hydrogène si les premiers déploiements sont concluants.

Les aides viseront ainsi les segments suivants :

- **Aide à l'acquisition d'électrolyseurs**, grâce à une aide à l'investissement couvrant une partie de l'investissement, en visant un coût de soutien inférieur à 20€/t_{CO2}. Cette aide doit permettre aux industriels utilisateurs d'hydrogène de franchir la barrière à l'investissement ;
- **Aides à la mise en place de projets territoriaux pilotes en matière de mobilité** : aide sous forme d'avances remboursables pour les stations de recharge et aide à l'acquisition de véhicules professionnels ou de véhicules destinés au transport collectif de personnes ;
- **Aides pour des projets hybrides, en particulier dans les zones non interconnectées au réseau**, associant plusieurs usages de l'hydrogène.

Au regard du niveau de maturité encore limité des technologies envisagées et du caractère encore non standardisé et divers des projets le soutien sera organisé sous forme d'appels à projets pour des financements en subvention ou avances remboursables.

Le soutien à divers usages finals de l'hydrogène permettra de stimuler la demande, de garantir un socle suffisant de consommation et de faciliter le déclenchement des investissements dans la chaîne de production et de distribution.

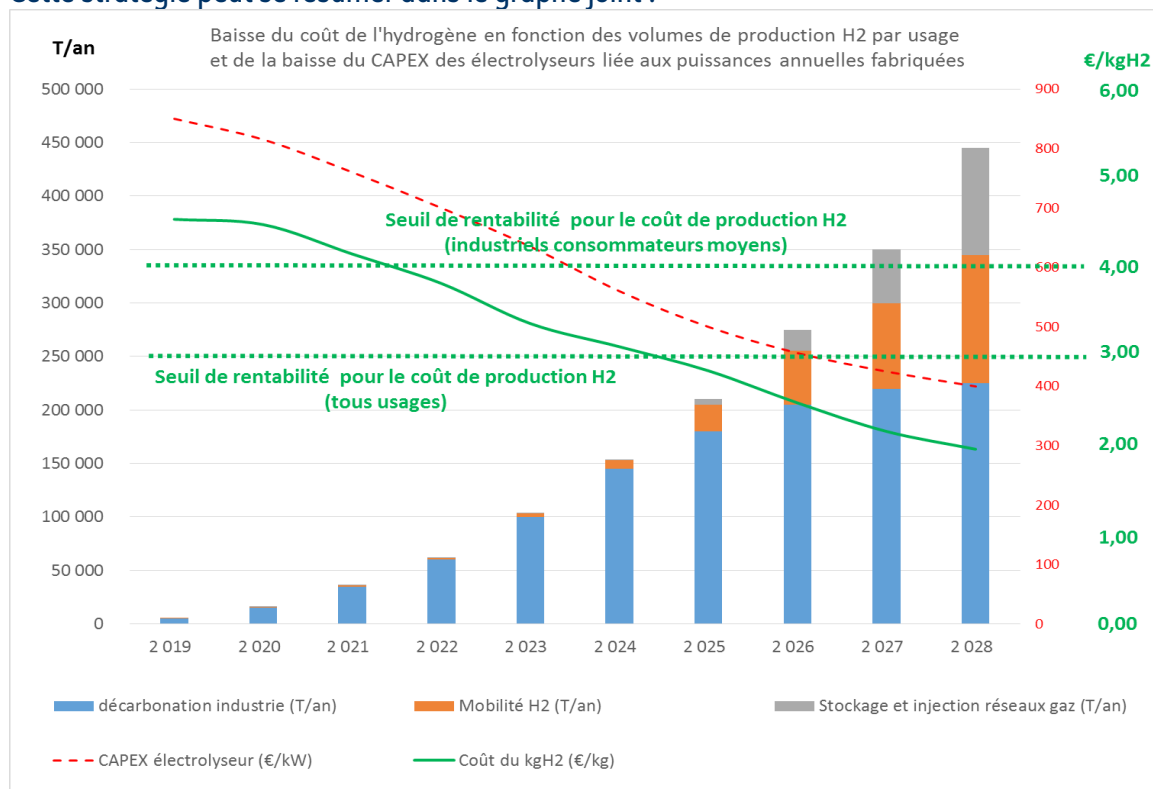
Des projets de démonstration devront continuer à être soutenus dans le cadre de l'action Démonstrateurs de transition écologique et énergétique du Programme des Investissements d'Avenir (PIA) piloté par l'ADEME. Ces projets restent nécessaires puisqu'ils jouent un rôle déterminant dans la confiance en la maturité technique et commerciale des produits, tant pour les consommateurs que pour les fournisseurs, en testant différents modèles d'affaire et en identifiant les meilleurs outils pour un futur déploiement de masse.

En complément des actions de recherche sur les technologies les moins matures et innovantes devront continuer à être soutenues notamment à l'aide des programmes ANR.

Conclusion : une action nationale de la montée en puissance des marchés de l'hydrogène et des technologies françaises

Le plan de déploiement de l'hydrogène doit permettre de structurer une filière émergente française : toutes les briques technologiques existent dans notre industrie, permettant d'aborder tous les usages de l'hydrogène. L'amorçage, en commençant par les secteurs les plus proches de la rentabilité, doit permettre un développement pérenne maximisant l'effet des soutiens publics.

Cette stratégie peut se résumer dans le graphe joint :



Le plan français doit également s'insérer dans une compétition mondiale déjà lancée. Il est en effet indispensable de construire cette nouvelle filière énergétique avec une vision globale d'autant que les filières industrielles, elles-mêmes mondiales, seront en premier lieu concernées.

Ainsi, au-delà du potentiel d'exportation que pourra porter la filière française, des coopérations seront envisageables, notamment avec l'Allemagne sur les sujets industriels (en lien avec la chimie allemande) et sur la mobilité (avec le support des équipementiers français qui ont leurs principaux marchés dans les deux pays) pour la production d'hydrogène vert. Dans ce contexte, une première coopération va être signée entre le CEA et l'institut Max Planck qui coordonne le projet hydrogène de l'industrie allemande.

Enfin, les cimenteries pesant particulièrement dans les émissions de CO₂ mondiales (5%), un sujet de réflexion autour de la cimenterie du 21ème siècle sera proposé, notamment en coopération avec la Chine.

Liste des recommandations

Toutes les mesures identifiées pour accélérer le développement de la filière hydrogène sont regroupées ci-dessous de façon thématique.

/// Place de l'H2 dans la Transition Energétique

La mise en œuvre de la feuille de route commence par la fixation d'objectifs ambitieux dans la stratégie de déploiement de l'hydrogène.

MESURE 1

Les objectifs suivants guideront l'action du Gouvernement dans les prochaines années, si les premiers déploiements sont concluants :

- **Introduire 10 % d'hydrogène décarboné dans l'hydrogène industriel d'ici à 2023 (soit environ 100 000 t) et 20 à 40% d'ici 2028.**
- **Déployer des écosystèmes territoriaux de mobilité hydrogène, sur la base notamment de flottes de véhicules professionnels, avec l'introduction :**
 - **de 5 000 véhicules utilitaires légers et 200 véhicules lourds (bus, camions, TER, bateaux) ainsi que la construction de 100 stations, alimentées en hydrogène produit localement à horizon 2023 ;**
 - **de 20 000 à 50 000 véhicules utilitaires légers, 800 à 2000 véhicules lourds et 400 à 1000 stations à l'horizon 2028.**

La création de nouveaux modèles d'affaires autour de l'hydrogène décarboné suppose de le rendre identifiable, afin qu'il puisse se distinguer par rapport à l'hydrogène produit à partir de sources fossiles. Deux mesures y contribueront :

MESURE 2

Mettre en place dès 2020 un système de traçabilité de l'H₂, s'inscrivant dans le cadre européen en cours de discussion (révision de la directive relative aux énergies renouvelables).

MESURE 3

Assurer la mise en évidence de l'impact environnemental de l'hydrogène dans la réglementation relative aux gaz à effet de serre, ce qui permettra de différencier l'hydrogène en fonction de son mode de production.

Cette mise en évidence se fera :

1. en inscrivant l'hydrogène dans la Base Carbone[®] gérée par l'ADEME, en renseignant un facteur d'émission propre à l'hydrogène en fonction de la source et du procédé mis en œuvre ;
2. en faisant ressortir explicitement l'hydrogène comme un vecteur énergétique, au même titre que l'électricité, la vapeur, etc., au niveau national (méthode réglementaire pour la réalisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre) comme à l'international (normes ISO 14064, 14069).

Mesures d'accompagnement

Afin de favoriser l'émergence de projets hydrogène, il est nécessaire d'accompagner les acteurs souhaitant s'engager dans ces projets sur différents plans : technique, réglementaire, financier. A travers la création d'un guichet unique pour l'hydrogène, les acteurs intéressés doivent pouvoir facilement bénéficier des mises en relation nécessaires pour le montage et la conduite de leurs projets.

MESURE 4

L'ADEME aura la mission d'accompagner les projets et les territoires aussi bien au niveau national qu'à travers ses délégations en régions. Ainsi :

- Elle orientera les porteurs de projets vers les bons interlocuteurs institutionnels, notamment pour les questions réglementaires ou de financement ;
- Elle aidera, notamment grâce à ses délégations régionales, les collectivités territoriales à inclure l'hydrogène dans leurs scénarios et leurs outils de planification locaux (en particulier SRCAE, PCAET) et à structurer et piloter des déploiements d'écosystèmes hydrogène.

Des soutiens à la R&D et à la démonstration existent déjà. Ils permettent un accompagnement des plus bas niveaux de maturité technologique (programmes ANR jusqu'à la démonstration (Investissements d'Avenir). Il n'existe toutefois pas d'outils spécifiques aujourd'hui pour accompagner les premiers déploiements. Un soutien financier de l'Etat à l'investissement pour les systèmes d'électrolyseurs et à divers usages finals de l'hydrogène permettra de stimuler la demande, de garantir un socle suffisant de consommation et, in fine, de faciliter le déclenchement des investissements dans la chaîne de production et de distribution. Au regard de la diversité des projets rencontrés, un soutien via une enveloppe dédiée est privilégié. Les dispositifs de soutien pourront évoluer par la suite, pour s'adapter aux caractéristiques des marchés.

MESURE 5

Mobiliser des moyens dédiés au déploiement de l'hydrogène, opérés par l'ADEME, pour financer les premiers déploiements. Un premier appel à projets sera lancé avant fin 2018 et le Gouvernement mobilisera 100M€ à partir de 2019 afin de financer des expérimentations et les premiers déploiements en visant plusieurs usages, dont l'industrie, la mobilité et les usages stationnaires (en priorité dans les ZNI) :

1. **Aides à l'investissement** pour cofinancer des premières séries d'électrolyseurs et obtenir des effets d'échelles (centaines de MW) ;
2. **Aides aux usages finaux**, en compensant les surcoûts par rapport à des solutions concurrentes à base d'énergies fossiles, pour consolider la demande et déclencher les investissements dans la chaîne de production et de distribution.

L'aide apportée visera ainsi les segments suivants :

- Aide à l'acquisition d'électrolyseurs, avec une aide à l'investissement pour un prix maximal de la t_{CO_2} évitée de 20€ sur la durée de vie d'un électrolyseur. Cette aide doit permettre de franchir la barrière à l'investissement pour les industriels utilisateurs d'hydrogène ;
- Aides à la mise en place de projets territoriaux pilotes en matière de mobilité : aide sous forme d'avances remboursables pour les stations de recharge et aide à l'acquisition de véhicules professionnels ou de véhicules destinés au transport collectif de personnes ;
- Aides pour des projets hybrides, en particulier dans les ZNI, associant plusieurs usages de l'hydrogène.

Lorsque le marché des électrolyseurs sera considéré comme plus proche de concurrencer l' H_2 issu de vaporéformage sans soutien public, l'aide à l'investissement pourra laisser la place à d'autres mesures (appels d'offres, tarifs d'achat, etc.) ou éventuellement à des mesures contraignantes (ex : taux d'incorporation contraignant d' H_2 décarboné dans l'industrie).

Par ailleurs, les territoires (de la commune à la région) sont des acteurs clés dans le montage de projets hydrogène. En effet, les territoires ont la capacité de créer un lien entre les acteurs de l'hydrogène au travers d'écosystèmes hydrogène locaux. Des territoires se positionnent déjà pour déployer de tels écosystèmes en prenant en compte leurs spécificités territoriales, comme la présence de sources d'énergies renouvelables, d'acteurs industriels leaders dans leur domaine ou de potentiels de clients de mobilité importants.

Deux mesures sont proposées afin de conforter les territoires dans leur rôle en matière d'hydrogène.

MESURE 6

Un groupe de travail avec les institutions financières sera créé au second semestre 2018 (financeurs privés et publics dont la Caisse des dépôts, Bpifrance) afin standardiser des modèles de cofinancement pour les projets de déploiements d'écosystème dans les territoires. Afin de gagner du temps dans le montage financier du projet.

MESURE 7

Le cadre juridique d'action des collectivités territoriales doit être sécurisé :

Un droit d'expérimentation sera étudié pour les régions afin qu'elles puissent déployer des électrolyseurs ou des stations, compétence aujourd'hui réservée aux départements et agglomérations qui disposent des compétences opérationnelles pour monter les projets mais sur un niveau de planification qui n'est pas toujours le plus adapté.

Les collectivités seront accompagnées dans la notification de leurs projets à la Commission européenne dans le cadre relatif aux aides d'Etat (par exemple, pour permettre le financement jusqu'à 100% du surcoût d'un véhicule propre) et dans leur recherche de financement européen.

/// Réglementation et prévention des risques

L'hydrogène est un gaz ayant une grande densité énergétique et est inflammable. Son usage est donc réglementé de façon à limiter les risques d'inflammation et d'explosion.

Les questions de sécurité sont à traiter à chaque étape de la chaîne de valeur : production, stockage, transport et utilisation. Sur le volet réglementaire, le travail important réalisé jusque-là pour clarifier les réglementations relatives à la sécurité et à la prévention des risques se poursuivra afin faciliter les déploiements.

MESURE 8

Les travaux réglementaires pour encadrer la production et l'utilisation d'hydrogène et garantir la sécurité des biens et des personnes se poursuivront. A très court terme :

- D'ici mi-2018, le décret encadrant l'utilisation d'hydrogène dans les stations-services au titre de la réglementation sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) sera publié (procédure de déclaration au-dessus d'un certain seuil) ;
- A la même échéance, l'arrêté ministériel fixant les prescriptions générales de sécurité à respecter par l'ensemble des stations-services hydrogène soumise à déclaration sera également (consultation en cours sur le projet de texte) publié.

MESURE 9

Un groupe de travail avec l'ensemble des acteurs concernés (ministères, gestionnaires d'infrastructures) sera lancé au deuxième semestre 2018 sur la simplification et l'harmonisation des procédures d'autorisation et d'homologation des bateaux et des solutions d'avitaillement hydrogène associées. Les propositions réglementaires associées devront être présentées au 1^{er} semestre 2019.

/// Intégration de l'H2 dans les systèmes énergétiques

L'hydrogène produit par électrolyse est une solution structurante pour l'intégration des énergies renouvelables au système électrique : il est actuellement le moyen de stockage massif inter saisonnier des énergies renouvelables électriques intermittentes le plus prometteur, notamment via le power-to-gas. Les électrolyseurs sont également capables de rendre d'autres services au réseau électrique, au même titre que d'autres technologies de stockage ou d'autres moyens de flexibilité (pilotage de la demande, développement des interconnexions).

Au regard de l'objectif d'autonomie énergétique à 2030 dans les zones non interconnectées (ZNI) et des besoins forts en moyen de flexibilité, les ZNI sont identifiées comme des territoires particuliers nécessairement prioritaires pour des expérimentations et déploiements pilotes dans le domaine du stockage et notamment de l'hydrogène.

MESURE 10

Pour la métropole continentale, il sera demandé à RTE et ENEDIS d'identifier les services rendus au réseau par les électrolyseurs et les moyens existants ou à mettre en place pour valoriser ce type de service.

MESURE 11

Il sera également demandé à EDF SEI et à l'ADEME de caractériser, pour chaque ZNI, les services que peuvent rendre les électrolyseurs et les besoins de flexibilité de chaque territoire afin de permettre aux collectivités concernées de prévoir dans leurs PPE des mesures et objectifs spécifiques concernant le stockage et l'hydrogène.

MESURE 12

Afin de préparer l'arrivée du « power-to-gas », les transporteurs et distributeurs de gaz devront déterminer les conditions techniques et économiques (gisements, verrous techniques, sécurité, bilan environnemental, etc.) d'injection d'hydrogène acceptables pour les réseaux, pour les installations qui y sont raccordées et pour les usages (dont la mobilité gaz), en lien avec les fabricants.

Il sera tenu compte des expérimentations en cours (GRHYD et JUPITER 1000). Ces conditions seront validées par l'Etat en tant que de besoin (par exemple sur les aspects sécurité). Deux rapports intermédiaires sont attendus à l'automne puis pour la fin de l'année 2018 pour un rapport final qui devra être rendu mi 2019.

Par ailleurs la possibilité d'accéder à de l'hydrogène décarboné produit à l'aide de technologie de captage et de stockage du CO₂ notamment en mer du Nord sera également étudiée par les gestionnaires de réseaux gaz d'ici fin 2018.

/// Développement des filières industrielles et soutien à l'innovation

Les programmes de recherche mis en place à l'ANR (10M€ sur les 5 dernières années) ont contribué à soutenir un écosystème de recherche d'excellence. Les programmes de recherche technologique sur l'hydrogène conduits depuis plus de 10 ans en partenariat public-privé ont eu un impact important sur l'émergence de nouveaux acteurs industriels sur cette filière. Un certain nombre d'applications n'a cependant pas encore atteint le niveau de développement technologique et de déploiement souhaité. Pour celles-ci, des actions supplémentaires pour augmenter leur état de maturité sont nécessaires, notamment en termes de durabilité, de performance, d'intégration système et in fine de coût.

Par ailleurs, dans le cadre de l'outil « Démonstrateurs de la transition écologique et énergétique » du programme des investissements d'avenir, environ 100 M€ ont déjà été engagés depuis 2012 pour la mise en place de démonstrateurs. Les actions seront poursuivies dans ce domaine.

MESURE 13

Le Programme d'investissement d'avenir soutiendra notamment, au travers d'appels à projets existants ou d'un appel à manifestation d'intérêt dédié à l'hydrogène, le développement de véhicules français lourds/de grande autonomie à hydrogène (camions, bus, bateaux, trains...), de la chaîne de composants associés, et de systèmes compétitifs de production et de stockage d'hydrogène décarboné et durable.

MESURE 14

Un programme de recherche sera mis en œuvre à l'ANR afin de s'attaquer aux ruptures scientifiques et technologiques nécessaires à la performance des applications et au maintien du haut niveau d'excellence de l'écosystème français de l'hydrogène. Une animation scientifique sera mise en place pour les projets soutenus et l'articulation avec les actions plus aval de l'ADEME sera prévue. Les modalités de ce nouveau programme seront arrêtées avant fin 2018.

L'industrie de l'hydrogène aura besoin d'une main d'œuvre qualifiée (ingénieur, techniciens, opérateurs). Par ailleurs, l'introduction de l'hydrogène dans les programmes technologiques des lycées et des formations supérieures permettrait de sensibiliser les jeunes à ces métiers.

MESURE 15

L'hydrogène devra être inclus dans l'offre de formation initiale et continue relative à la transition énergétique. Pour développer les outils de formation nécessaires, des travaux collaboratifs seront engagés avec des professionnels de chaque domaine (pompiers, architectes, inspecteurs des installations classées, mécaniciens, urbanistes, chauffagistes, etc.) en concertation avec les ministères concernés.

Au-delà des outils de production et des consortiums en cours de montage, il est indispensable de s'assurer que les technologies hydrogène répondront aux normes et réglementations imposées en France et au niveau international. Les industriels français doivent pour cela pouvoir s'appuyer sur des plateformes de moyens d'essais nécessaires à la qualification, l'homologation et la certification de leurs technologies. Cela est particulièrement critique pour la filière des réservoirs embarqués dont l'homologation requiert des essais très spécifiques.

MESURE 16

Instruire et accompagner la création d'un centre international de qualification / certification de composants H₂ haute pression pour la mobilité routière, l'aéronautique, le maritime, le fluvial, le ferroviaire.

*Les lignes principales du **réseau ferré français** sont aujourd'hui électrifiées. Cette électrification, qui est utile pour atteindre des vitesses élevées, permet de s'affranchir des motrices diesel qui émettent du CO₂ et des particules fines. Le coût d'électrification d'1 km de voie ferrée est estimé à plus d'1 million d'euro et n'est pas pertinent sur toutes les lignes. Dans ce cadre des motrices à hydrogène pourraient assurer une électromobilité à un coût maîtrisé en substitution de motrices diesel.*

MESURE 17

Le verdissement du parc ferroviaire devra être préparé afin de permettre le remplacement des locomotives et automotrices les plus polluantes dans les meilleurs délais et viser ainsi la neutralité carbone en 2050.

Une mission parlementaire sera lancée d'ici la fin du premier semestre 2018. Elle permettra notamment d'estimer la place de l'hydrogène dans le rail et d'identifier les verrous à lever.

Si la plupart des technologies nécessaires à ces déploiements sont déjà au stade de la commercialisation, elles sont encore dans un mode de production de petites séries. La mise en œuvre de ce plan national doit permettre de changer de dimension en développant les outils de production conduisant à la massification, synonyme de baisse des coûts nécessaire à la compétitivité des entreprises.

L'ensemble de l'écosystème français doit être mobilisé. Si la montée en puissance des différentes filières industrielles doit être accompagnée au travers des différentes mesures proposées dans cette feuille de route, il convient également qu'à l'inverse, les industriels s'engagent vis-à-vis des pouvoirs publics.

MESURE 18

Les industriels français seront réunis par les pouvoirs publics dès l'été 2018 en vue de l'élaboration d'« engagements croissance verte » (ECV), avec un objectif de signature d'ici la fin de l'année. Les discussions pour l'élaboration de ces ECV pourront s'inscrire dans le cadre des travaux menés par les comités stratégiques de filières.

La montée en puissance de plusieurs consortiums industriels pourra être approfondie dans ce cadre, notamment :

- 1. Une filière électrolyse avec les énergéticiens français et des équipementiers,*
- 2. Plan de déploiement de l'hydrogène pour la transition énergétique*
- 3. L'industrialisation de nouvelles plates-formes de véhicule (notamment camion et camionnette) avec les acteurs de la PFA,*
- 4. L'industrialisation d'un réservoir adapté avec équipementiers de l'automobile et de l'aéronautique et un industriel chimiste,*
- 5. L'industrialisation de piles à combustibles pour les domaines de l'aéronautique,*

Témoignages d'industriels qui se sont positionnés sur l'hydrogène

VICAT

Dans une volonté nationale et européenne de diminuer au maximum et au plus vite les rejets de CO₂ de l'industrie cimentière (2,6% du total des émissions), Vicat a engagé depuis plusieurs années une politique de réduction de ses émissions, notamment par l'utilisation croissante de combustibles non-fossiles, mais aussi par le développement de produits et systèmes constructifs tout en conservant ses outils industriels en France, en les adaptant pour être non plus une contrainte pour les territoires d'implantation mais une solution.



Le process cimentier est un process industriel à feu continu, nécessitant une grande quantité d'énergie thermique et électrique. L'énergie électrique est majoritairement utilisée pour la préparation et le broyage des matières et l'énergie thermique est requise pour la réaction de transformation minéralogique de la matière.

Pour répondre à ces enjeux, l'hydrogène est une des solutions qui pourrait s'imposer. Produit par électrolyse à partir d'électricité renouvelable, il peut en effet être recombinaison par méthanation avec ce CO₂ capté sur les fumées. Le méthane produit (application « Power-to-Gas ») remplacera une partie des combustibles fossiles habituellement utilisés, ou pourra, selon les conditions économiques, être réinjecté dans le réseau.

En complément de cette application Power-to-Gaz, la valorisation du vecteur énergétique hydrogène pour des usages « électromobilité », et « industriels » (réinjection directe de l'hydrogène dans le four) peut être envisagée.

La cimenterie du futur deviendrait alors un véritable hub énergétique territorial et un outil de transformation fournissant chaleur, hydrogène et méthane de synthèse pour des usages de proximité.

SAFRAN

En tant que leader mondial de la motorisation des avions commerciaux moyen-courriers et des hélicoptères, Safran est concerné au premier chef par l'indispensable réduction de l'empreinte écologique du secteur aéronautique.

SAFRAN est convaincu que les objectifs ambitieux de réduction de l'empreinte écologique du secteur aéronautique commercial, définis aux horizons 2035 et 2050, ne pourront être satisfaits que par une évolution en profondeur des architectures des systèmes énergétiques embarqués à bord des aéronefs.



L'hydrogène est appelé à jouer un rôle majeur à bord des plates-formes aéronautiques du futur. Trois fois plus performant que le kérosène en termes de densité énergétique, l'hydrogène constitue sans aucun doute un carburant pour l'avenir. Les solutions à base d'hydrogène seront capables de présenter des densités énergétiques (ratio énergie / masse) compatibles de l'emport sur avions ou hélicoptères. Les perspectives d'amélioration des performances des batteries à horizon de 10 à 20 ans ne permettent pas d'envisager des solutions « tout batterie » en réponse aux futurs besoins de l'aéronautique commerciale.

Par ailleurs, l'émergence des nouveaux marchés de la mobilité urbaine et interurbaine (On Demand Mobility) se traduira par la mise sur le marché de véhicules aériens de petites capacités d'emport, basés sur des systèmes de propulsion électriques pour lesquels les équipements de piles à combustible constitueront des solutions pérennes et non polluantes.

D'ores et déjà, les systèmes à base de piles à combustibles développés par Safran sont conçus pour permettre d'alimenter les charges non-propulsives des aéronefs, en vol et au sol. Le projet PIPAA, soutenu par le CGI et BPI France, est un exemple de cette première étape. Il a pour objectif court terme de déployer la technologie piles à combustibles sur des avions existants et pourra permettre une réduction significative des émissions polluantes par retrofit des équipements sur les avions en service. Pour répondre à l'ensemble des besoins résumés ci-dessus, la stratégie de Safran, au travers des feuilles de route technologiques mises en place, vise maintenant à étendre l'utilisation de l'hydrogène au système propulsif des aéronefs, dans des configurations hybrides associant propulsion thermique et propulsion électrique. Cette nouvelle étape passe par le développement de piles à combustible plus puissantes et, pour les applications de l'aéronautique commerciale, par la mise au point de solutions d'emport de quantités d'hydrogène plus importantes à bord des aéronefs, nécessitant a priori un stockage sous forme liquide (LH2). Elle ouvre ainsi la voie aux études et développement de la future génération d'aéronefs qui sera nativement conçue pour accueillir la technologie hydrogène.

Dans la compétition internationale intense qui cible ces nouvelles générations d'avions et d'hélicoptères, pour des mises en service à l'horizon 2025-2035, le développement et la mise au point de solutions de propulsion hybride à base d'hydrogène constituera un atout décisif pour Safran.

ENGIE

ENGIE a la conviction que le système énergétique de demain sera décentralisé, décarboné et digitalisé.

ENGIE s'est engagé fortement dans la transition vers ce monde où les énergies renouvelables auront une place prédominante. Plus particulièrement, ENGIE pense que l'hydrogène vert aura une place de choix dans le mix énergétique de demain, car il permettra :

- d'offrir une complémentarité décarbonée et 100% sans particules aux limites de la mobilité tout électrique, en particulier pour les usages intensifs, les longues distances ou les véhicules lourds (flottes captives telles que les bus, taxis, charriots, trams, trains, bateaux caboteurs/ bateaux-mouches, etc.)
- de décarboner les usages massifs industriels d'hydrogène en le produisant par hydrolyse et à partir d'énergie verte
- 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 et des besoins thermiques des bâtiments, évitant ainsi des renforcements de réseaux.



Schéma du démonstrateur GRHYD à Dunkerque

A terme, l'hydrogène vert pourra être produit à grande échelle, par électrolyse, à coût compétitif dans certaines zones du monde. Cet hydrogène pourra ensuite être utilisé pour répondre à des besoins locaux mais pourra également être exporté vers d'autres zones qui seront en déficit d'énergie renouvelable par rapport à leurs besoins.

Pour parvenir à cette fin, il convient :

- de développer la demande autour des usages de l'hydrogène (industrie, mobilité, énergie),
- de développer la production d'hydrogène renouvelable

Même si les coûts de production des énergies renouvelables ont été fortement réduits, le coût des infrastructures à mettre en place (électrolyseur, stockage) est tel que l'hydrogène renouvelable n'est pas encore compétitif dans les usages industriels par rapport à l'hydrogène issu du reformage. Du côté de la mobilité, c'est le coût des investissements dans les nouvelles flottes de véhicules et dans les stations de rechargement qui constitue un frein au développement. En soutenant la production et les usages de l'hydrogène, cela permettra aux coûts de baisser dans des proportions proches de ce qui a été observé pour les autres énergies renouvelables. L'hydrogène vert aura alors toute sa place et sa pertinence économique dans un paysage énergétique nouveau entièrement décarboné et sécurisé.

Il faut donc accompagner financièrement le développement des usages afin de réduire cet écart de compétitivité par rapport aux solutions alternatives, d'autant que des solutions techniques sont déjà disponibles (bus, taxis, Kangoo...).

Au fil du temps, cet écart de compétitivité devrait se résorber, une fois la taille critique et les réductions de coûts atteints sur les technologies (électrolyseurs, pile à combustible, stockage...).

Pour assurer un déploiement significatif de l'hydrogène, il est cependant nécessaire d'avoir un cadre réglementaire incitatif et stable. La législation doit également être neutre sur le plan technologique : par exemple, les avantages dont bénéficient les véhicules à batterie électrique devraient être équivalents à ceux des véhicules à pile à combustible. Il est important que tous les acteurs, incluant les industries, les pouvoirs publics, les établissements financiers et instituts de recherche se mobilisent pour agir dès maintenant, et ce de manière coordonnée. ENGIE est convaincu qu'une coordination au niveau national est requise, avec une vision systémique de l'ensemble des énergies et de leur complémentarité, avec l'objectif d'optimiser les coûts énergétiques globaux.

FAURECIA

Faurecia, entreprise technologique leader de l'industrie automobile, estime qu'en 2030 plus de 50% du marché sera électrifié, avec toutefois une part importante de motorisations hybrides (électriques et thermiques). Les motorisations « zéro-émission » ne devraient pas dépasser 15% en 2030 car les défis technologiques, d'infrastructures et de coûts restent significatifs.

La croissance motorisations zéro-émission est cependant irréversible. L'évolution du mix des motorisations dépendra principalement des cas d'usages, des contraintes réglementaires et des coûts.

Dans ce contexte, Faurecia est convaincue que la pile à combustible est une alternative majeure aux limitations des véhicules 100% électriques à batteries, elle permet d'atteindre des performances équivalentes à celle des moteurs à combustion interne en termes d'autonomie (700-800km) et de temps de recharge (3 à 5mn). De plus, sa densité énergétique, par unité de volume et de poids, est très supérieure à celles des batteries (en 2025, 85 fois plus importante avec 34KWh/kg). C'est par conséquent une technologie particulièrement adaptée pour des cas usages liés à une activité intensive nécessitant d'embarquer des niveaux d'énergie importants, comme par exemple les véhicules utilitaires, camions et bus. Les premiers usages significatifs pourraient démarrer avec des flottes captives nécessitant des infrastructures de charges limitées. Le marché est en plein essor, les grands constructeurs mondiaux ont tous annoncé leurs projets de développement avec des lancements prévus entre 2020 et 2025 tant sur les véhicules particuliers que sur les flottes professionnelles.

D'un point de vue économique et du développement durable, la pile à combustible ne présente pas de problème d'approvisionnement ou de consommation de matériaux rares qui pourraient conduire à d'éventuelles tensions sur l'approvisionnement de matériaux lié à la croissance des volumes. De plus, les matériaux utilisés sont parfaitement recyclables.

Faurecia - avec le soutien de grands centres de recherches comme le CEA et le Collège de France - développe des solutions de ruptures aussi bien pour les composants principaux que pour les performances système.

Ainsi tous les acteurs de la filière hydrogène, seront en mesure de développer une spécificité française performante, capable de se différencier sur le marché international de la mobilité.

Pour accélérer le déploiement de la technologie, il est nécessaire :

1. De faciliter le déploiement de flottes captives de véhicules hydrogène (« hydrogen valleys »)
2. D'aider au développement d'une infrastructure pour faciliter certains usages - de livraisons urbaines et péri-urbaines en Ultra Low Emission Zone - avec un objectif de 200 Stations en 2022, 500 en 2024 et 1500 en 2030.

La pile à combustible contribuera rapidement et efficacement à la croissance de la mobilité à zéro-émission.

Ministère de la Transition écologique et solidaire
Hôtel de Roquelaure
44 boulevard Saint-Germain
75007 Paris



www.ecologique-solidaire.gouv.fr

