



France  
Hydrogène

Engagée pour la transition écologique

# L'HYDROGÈNE EN FRANCE

---

Edition 2020

---

# SOMMAIRE

## FAITS MARQUANTS : 2020, L'ENGAGEMENT DES POUVOIRS PUBLICS P4

### LA VOIE VERS LA DÉCARBONATION P6

Énergie et matière première pour l'industrie p6

Mobilité : une alternative zero émission aux énergies fossiles p10

Faciliter l'intégration des énergies renouvelables dans les systèmes énergétiques p12

### UNE STRATÉGIE NATIONALE POUR UNE FILIÈRE STRATÉGIQUE P16

Valeur ajoutée technologique p16

Des perspectives économiques significatives p18

L'hydrogène devient une industrie stratégique pour la France p21

### ACCÉLÉRATION DE LA DYNAMIQUE INDUSTRIELLE P24

Les grands groupes répondent présents p24

Un réseau de PME/PMI innovantes au cœur de la filière p28

Une logique d'innovation continue p30

### L'ENGAGEMENT DES TERRITOIRES : UNE DYNAMIQUE GAGNANT-GAGNANT P32

La création d'écosystèmes locaux p32

Des écosystèmes au plus près des spécificités des territoires p35

Développer et promouvoir la filière p36

### L'HYDROGÈNE, UNE DYNAMIQUE MONDIALE P38

A propos de ce document.

Depuis trois ans, le rapport annuel de l'AFHYAPAC reprend la chronologie des événements de l'année et chacun des membres de l'association y retrouve ce qui a fait son actualité et celle de la filière. En cette année charnière qui ouvre une ère nouvelle pour l'hydrogène en France, nous avons décidé de changer de format. Tout comme le changement de nom de notre association, ce rapport et son contenu s'inscrivent dans une logique d'ouverture et de pédagogie. Il nous importe que le public le plus large puisse prendre conscience du rôle que l'hydrogène peut jouer au quotidien dans la transition écologique de notre pays, au service du développement économique de tous les territoires et de la qualité de vie de chacun d'entre nous. Bonne lecture!

## 2020, L'ANNÉE DU PASSAGE À L'ÉCHELLE

L'année qui se termine restera marquante à plusieurs égards. Pour tous, l'ampleur de la crise sanitaire, sociale, économique encore en cours a profondément bouleversé nos certitudes et nos habitudes, notre manière de travailler, de nous déplacer, de nous rencontrer. Pour nous, professionnels de l'hydrogène, l'année 2020 restera aussi l'année du passage à l'échelle. Le passage à l'échelle pour lequel nous nous mobilisons chaque jour depuis longtemps et qui va permettre à l'hydrogène de devenir une alternative compétitive dans la course aux solutions bas carbone pour atteindre la neutralité à l'horizon 2050.

Cinq ans après les accords de Paris, l'urgence climatique n'a jamais été aussi forte. Les conséquences de la crise sanitaire la double maintenant d'une urgence économique plus que pressante. Dans ce contexte, l'hydrogène a un rôle déterminant à jouer, non seulement pour atteindre nos objectifs climatiques, mais également pour créer de la valeur en développant la compétitivité de notre industrie et l'emploi sur tout le territoire. Le gouvernement français l'a bien compris et a saisi l'opportunité de la relance pour concrétiser un soutien d'ampleur à notre filière.

La Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné, rendue publique le 8 septembre dernier, signe un programme ambitieux et cohérent où l'économie rejoint

l'écologie, en ligne avec la vision exposée dans notre Manifeste en juillet. Décarboner l'industrie et investir dans des capacités de production pour faire émerger une filière française compétitive de l'électrolyse, développer une mobilité lourde décarbonée, soutenir la R&D et le développement de compétences sur les briques technologiques clés, ces trois axes doivent permettre à la France de devenir un champion de l'hydrogène renouvelable et bas carbone aux niveaux européen et mondial. Elle en a les atouts et le montant du soutien annoncé lui en donne les moyens.

En janvier dernier, nous évoquions tous la décennie de l'hydrogène. Nous y entrons aujourd'hui résolument avec le dynamisme qui est le nôtre et avec le soutien que nous donne la stratégie gouvernementale. Une stratégie qui reconnaît notre filière comme une industrie à part entière - à haute valeur ajoutée environnementale, technologique et économique - et qui nous engage. Si nous serons vigilants sur sa mise en œuvre qui doit bénéficier aux acteurs industriels français dans le cadre d'un développement économique des territoires, nous avons maintenant la responsabilité de co-construire un déploiement harmonieux, coordonné et structuré, à la fois sur l'ensemble de la chaîne de valeur et sur tout le territoire national. Sachons saisir cette opportunité unique et nous montrer à la hauteur des défis qui sont devant nous!

**Philippe Boucly**  
Président de France Hydrogène

avec le soutien  
de l'ADEME



# 2020, L'ENGAGEMENT DES POUVOIRS PUBLICS

## Faits marquants 2020



© France Hydrogène

### JANVIER

Réunion du Hydrogen Council dans le cadre du Sommet Choose France à Versailles, L'hydrogène au plus haut sommet de l'Etat

### AVRIL

Publication de la Programmation pluriannuelle de l'énergie pour 2019-2023 et 2024-2028, comprenant pour la première fois un volet sur l'hydrogène

Mobilisation de la filière: 160 projets candidats aux deux Appels à Manifestation d'Intérêt Hydrogène du gouvernement représentant un montant d'investissement de 32,5 Md€

### 7 FÉVRIER

Le collège d'experts présidé par Benoît Potier remet son rapport "Faire de la France une économie de rupture technologique". L'hydrogène est identifié comme l'un des 11 marchés émergents à fort potentiel sur lequel la France devrait investir en priorité

### JUIN

Le plan de soutien à l'aéronautique réserve 1,5 Md€ sur 2020-2023 à la R&D pour l'avion zéro émission, incluant l'hydrogène

### 8 JUILLET

La Commission européenne adopte sa Stratégie hydrogène pour une Europe climatiquement neutre. Elle lance également l'Alliance européenne pour l'hydrogène propre, réunissant commissaires européens, dirigeants d'industries et représentants des Etats membres, des régions et de la société civile dont France Hydrogène

### 8 SEPTEMBRE

**Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France** dotée d'un soutien public de 7,2 Md€. Cette stratégie vise à décarboner l'industrie en faisant émerger une filière française de l'électrolyse (6,5 GW en 2030), développer une mobilité lourde à l'hydrogène décarboné et soutenir la recherche, l'innovation et le développement de compétences

### 7 OCTOBRE

L'AFHYPAC devient France Hydrogène et crée 12 délégations régionales

### 13 NOVEMBRE

Accord de collaboration entre la Banque européenne d'investissement (BEI) et France Hydrogène pour accélérer le soutien aux projets hydrogène en France

01

02

03

04

05

06

07

08

09

10

11

12

### FÉVRIER

Plan de la Région Bourgogne-Franche-Comté pour l'hydrogène

### MAI

Plan de soutien à la filière automobile qui prévoit un fonds d'investissement d'avenir pour l'automobile de 150 M€ dès 2020 pour soutenir l'innovation et l'industrialisation, dont la production et l'usage de systèmes à hydrogène pour l'automobile

### JUIN

Stratégie nationale allemande dotée d'un budget de 9 Md€

### 21 JUILLET

Manifeste de la filière hydrogène pour un plan Hydrogène ambitieux et cohérent

### JUILLET

La Région des Pays de la Loire adopte sa feuille de route hydrogène

### 3 SEPTEMBRE

Le Premier ministre présente le plan de relance de l'économie du Gouvernement, octroyant 2 Md€ au soutien à la filière hydrogène sur 2020-2022

### 14 OCTOBRE

L'ADEME publie ses deux nouveaux appels à projets pour soutenir l'hydrogène, 1<sup>ers</sup> dispositifs de soutien liés à la stratégie nationale

### 13 OCTOBRE

Le président de la République et la chancelière allemande s'accordent lors d'un sommet franco-allemand pour impulser la création d'un projet important d'intérêt commun européen (IPCEI) sur l'hydrogène

### OCTOBRE

Feuille de route hydrogène de la Région Nouvelle Aquitaine

### 28 OCTOBRE

Feuille de route hydrogène de la Région Bretagne







# LA VOIE VERS LA DÉCARBONATION

Vecteur d'énergie flexible, l'hydrogène est un levier essentiel pour la transition écologique. Ses déploiements opérationnels se multiplient en France et hors de nos frontières. Au moment où la pression sur le coût environnemental de nombreux secteurs s'intensifie, son potentiel de contribution aux objectifs de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et d'amélioration de la qualité de l'air offre des perspectives importantes.

Dans le cadre de sa transition écologique, La France vise la neutralité carbone à horizon 2050. Atteindre cet objectif nécessite une transition énergétique massive qui va mobiliser différentes technologies et sources d'énergie. L'hydrogène actuellement utilisé comme matière première dans l'industrie, présente des propriétés qui peuvent contribuer à l'ensemble de la transition énergétique. L'enjeu est aujourd'hui de décarboner sa production en tant que matière première et de développer ses applications énergétiques dans l'industrie, la mobilité et l'énergie.

## Énergie et matière première pour l'industrie

**Décarbonation de la matière première**  
**Substitution de l'hydrogène carboné.** L'hydrogène industriel, utilisé depuis une centaine d'années est à 95 % issu des énergies fossiles. Certains secteurs, gros utilisateurs (raffinage, ammoniac), le produisent sur site quand d'autres, moins consommateurs (agro-alimentaire, verrerie, métallurgie, électronique, chimie fine...) optent pour un approvisionnement sous forme liquide ou gazeuse. Pour tous, le potentiel de

décarbonation est significatif via la production locale d'hydrogène renouvelable ou bas carbone. Parmi les différents procédés existants, l'électrolyse de l'eau est l'un des plus porteurs, un des enjeux étant de la rendre économiquement compétitive.

Des acteurs industriels de premier plan investissent dans la construction d'installations d'électrolyse de forte capacité, soutenus par les dispositifs de financement nationaux et européens.

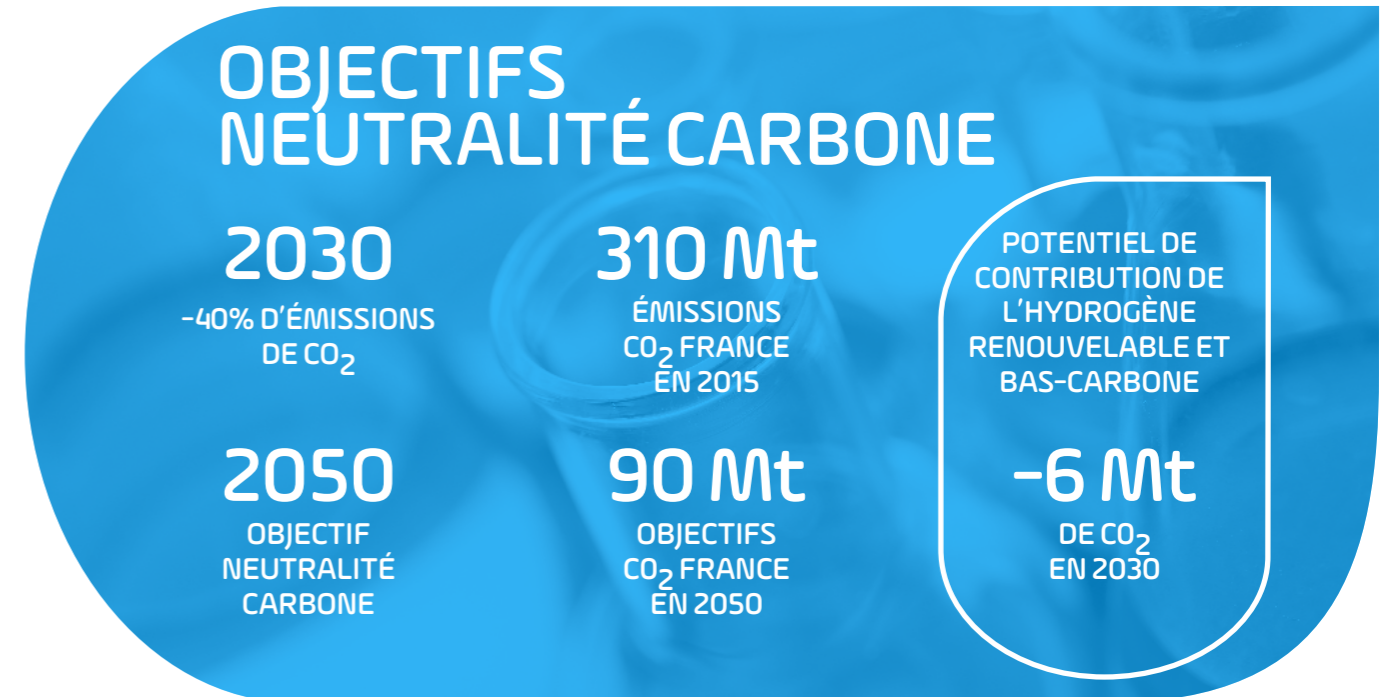
**Valorisation de l'hydrogène co-produit.** Issu de procédés non destinés à sa production, l'hydrogène co-produit est considéré comme bas carbone s'il est consommé sur place ou transporté de manière non polluante. Plusieurs projets sont à l'étude dans des zones industrielles où la valorisation de l'hydrogène coproduit permettrait de disposer d'une énergie propre compétitive. Le projet H2Bordeaux piloté par le Grand Port Maritime de Bordeaux prévoit de

valoriser les 3000 t/an d'hydrogène co-produit par une usine chimique pour alimenter des applications de mobilité fluviale et maritime, amorce du développement d'un écosystème hydrogène complet.

## Vers de nouveaux usages industriels

**Modification de procédés.** L'hydrogène peut être utilisé pour décarboner certains procédés industriels notamment dans la sidérurgie par le remplacement partiel du charbon pour la réduction du minerai de fer. La Suède et l'Autriche sont déjà engagées dans cette voie et des projets sont à l'étude en France, comme chez Arcelor Mital à Dunkerque et Fos-sur-Mer.

**Carburants de synthèse ou e-fuels.** La production de e-fuels à partir d'hydrogène décarboné et de CO<sub>2</sub> permet de réduire les émissions tant au niveau





## CHIFFRES CLÉS PRODUCTION H<sub>2</sub>



### Produire de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone

L'hydrogène est actuellement produit à 95% à partir d'énergie fossile, le procédé le plus utilisé étant le vaporeformage du gaz naturel. A une température comprise entre 700 et 1100°C, la vapeur d'eau réagit avec le méthane, pour produire de l'hydrogène (H<sub>2</sub>) et du CO<sub>2</sub>. Réduire le bilan carbone de la production d'hydrogène peut faire appel à différents procédés.

**L'électrolyse de l'eau (H<sub>2</sub>O)** sépare l'hydrogène de l'oxygène grâce à un courant électrique sans émission directe de CO<sub>2</sub> ou autre GES ni de polluant. Ce procédé permet une production massive d'hydrogène avec des unités de plus en plus importantes (plusieurs centaines de MW). Il bénéficie d'un potentiel prometteur en synergie avec l'essor de l'éolien et du solaire. Une électricité d'origine renouvelable produit un hydrogène à très faible empreinte carbone. Si l'électricité est d'origine nucléaire, le bilan carbone demeure positif. Un point de blocage reste le prix de l'hydrogène produit par électrolyse - de 4 à 5 fois plus cher que l'hydrogène produit par la méthode de production dominante du vaporeformage du gaz naturel. Associé à la baisse du prix des énergies renouvelables (EnR), le passage à l'échelle est indispensable pour rendre compétitif l'hydrogène obtenu par électrolyse.

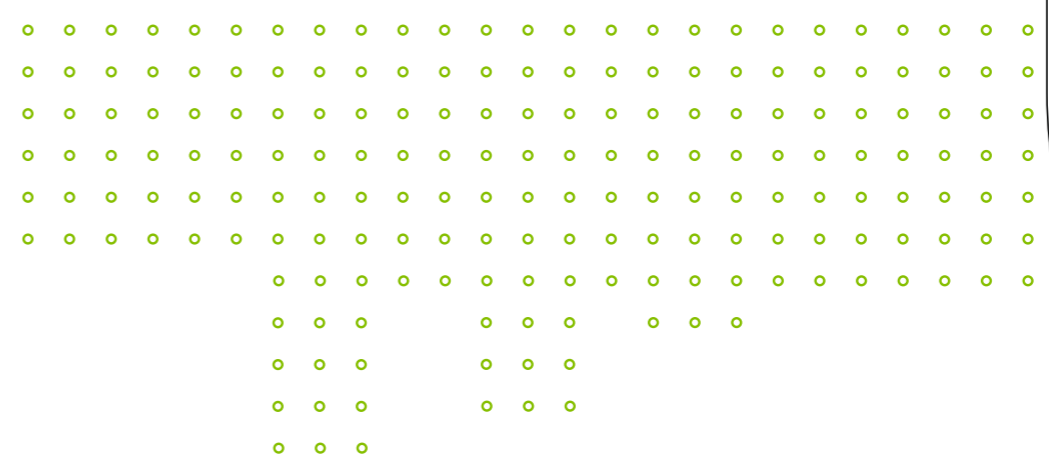
**Captage, stockage et valorisation du carbone (CCUS).** Il est possible de réduire le bilan carbone de la production d'hydrogène à partir de gaz naturel en captant le CO<sub>2</sub> émis et en le stockant pour ensuite le valoriser.

**Pyrogazéification, thermolyse de la biomasse:** une transformation chimique de la biomasse (déchets organiques, résidus de l'exploitation forestière et agricole...) à très haute température permet d'obtenir un mélange gazeux dont la purification permettra d'obtenir de l'hydrogène.

D'autres procédés existent, comme l'épuration de biogaz ou bien des procédés émergents comme la thermolyse à plasma de méthane.

© Air Liquide - Pierre Emmanuel Rastoin

Le terme Hydrogène décarboné fait référence à l'hydrogène renouvelable et l'hydrogène bas-carbone



### L'HYDROGÈNE AU NATUREL

Des recherches pointent aujourd'hui la possibilité d'une présence massive de l'hydrogène à l'état pur dans le sous-sol. Des premiers gisements ont été mis en évidence en Afrique, au Brésil, en Russie et aux Etats-Unis. Une piste prometteuse mais encore au stade exploratoire.

de la production que de l'usage. Les produits obtenus peuvent être utilisés dans certains segments de la mobilité lourde (aéronautique et maritime) ou dans l'industrie.

**Usages énergétiques, électricité ou chaleur.** Le potentiel de réduction de CO<sub>2</sub> de l'hydrogène concerne également la demande énergétique de l'industrie dont de nombreuses activités sont fortement consommatrices. Il peut se substituer au gaz naturel dans des projets de Power-to-Gas. Il peut être également utilisé pour valoriser des sous-produits énergétiques tels que la chaleur à haute température, via des électrolyseurs nouvelle génération, comme dans le projet GENVIA (voir p30), réunissant entre autres Schlumberger et le cimentier VICAT.

### L'acier vert d'Arcelor Mittal

Arcelor Mittal Europe a présenté en octobre dernier sa stratégie technologique pour atteindre ses objectifs de réduction de 30% des émissions de CO<sub>2</sub> d'ici 2030 et la neutralité carbone d'ici 2050. Une stratégie qui fait la part belle à l'hydrogène décarboné, avec notamment la technique de réduction directe du minerai de fer et l'aciérie électrique (DRI/EAF). 30 000 tonnes d'acier vert sortiront de ses usines dès cette année, Hambourg et Breme font figure de sites pilotes pour les optimisations techniques et les premières productions.

Dunkerque est appelé à jouer un rôle crucial dans cette stratégie, avec dès à présent le projet IGAR. À terme, Dunkerque accueillera un site DRI à grande échelle combiné à une aciérie électrique qui fonctionnera in fine uniquement à l'hydrogène renouvelable.



## LE VÉHICULE ÉLECTRIQUE À HYDROGÈNE

Un véhicule à hydrogène est un véhicule électrique qui puise son énergie d'une pile à combustible alimentée par de l'hydrogène dans un réservoir intégré. Il existe aussi des prolongateurs d'autonomie à hydrogène destinés à augmenter l'autonomie de la batterie électrique du véhicule.



© Pragma

## Mobilité : une alternative zero émission aux énergies fossiles

L'hydrogène est une énergie de choix pour la mobilité propre avec des bénéfices reconnus en termes d'impact environnemental mais aussi de santé publique et de qualité de vie dans les zones de forte densité urbaine.

### La route : les multiples usages d'un secteur porteur

Particulièrement adaptée aux besoins de fortes puissances motrices et/ou de longue autonomie, la propulsion hydrogène s'adresse en premier lieu aux professionnels dont les flottes fonctionnent en usage intensif : utilitaires légers et berlines des flottes professionnelles, bus et bennes à ordures ménagères des services urbains, poids lourds, chariots élévateurs.

**Les flottes de véhicules professionnels, utilitaires légers (VUL) et berlines.** Choisir les solutions hydrogène pour ce segment permet de répondre aux exigences de la circulation urbaine et péri-urbaine pour le transport des passagers ou la logistique du dernier kilomètre. La société de taxis Hype (Paris/IDF) fait figure de pionnière avec sa flotte de 120 taxis hydrogène (essentiellement modèle Mirai de Toyota). Les chauffeurs ravitaillent leur taxi dans les trois stations opérées par Air Liquide, partenaire du projet.

Des acteurs privés et publics s'engagent dans des projets d'envergure de type Vallée Hydrogène qui contribuent à faire émerger une demande plus soutenue ainsi qu'un réseau de stations de recharge (cf. p34).

Par ailleurs, l'offre des constructeurs français s'étoffe sur un segment dont le parc est particulièrement significatif en France : deux modèles de VUL équipés d'un dispositif prolongateur d'autonomie à hydrogène seront disponibles chez Renault, trois en projet chez PSA pour 2021.

Le déploiement de l'hydrogène dans **les transports et services urbains** monte en puissance, porté par les collectivités. Des bus à hydrogène circulent dans plusieurs agglomérations depuis 2019 avec un accroissement prévu de la flotte d'ici 2024 notamment avec l'initiative 1000 bus hydrogène en France.


**Dans la logistique de marchandises,** les solutions et déploiements hydrogène se multiplient. La grande distribution utilise des chariots élévateurs à hydrogène depuis plus de cinq ans dans le Nord et en Centre Val de Loire. 2020 a vu la mise sur le marché de la remorque frigorifique du carrossier Chéreau ou encore l'arrivée des premiers poids-lourds 44 T en Suisse conçus et réalisés par Hyundai. L'utilisation de la traction hydrogène, émergente en Europe, est en forte croissance en Asie et notamment en Chine, où Hyundai prévoit de livrer 4000 camions en 2025.

Nice a rejoint cette année les municipalités qui mettent des vélos à hydrogène à disposition de leurs agents municipaux ou du grand public (modèle Alpha 2.0 de la société biarrote Pragma Industries. A la rentrée, l'opérateur de gaz R-GDS de Strasbourg a également décidé d'utiliser le vélo de Pragma pour les interventions légères de ses agents.

### 2020

 400 véhicules légers

 21 bus

 145 vélos

 2 bateaux

 40 stations de recharges

 180 chariots élévateurs

### 2030 Objectifs filière

 300 000 véhicules légers

 5 000 véhicules lourds

 250 trains

 1 000 bateaux

 1 000 stations de recharges

Des vélos cargos triporteurs à l'hydrogène, adaptés à l'hypercentre, font également leur apparition. Une flotte est actuellement en test pour un an dans une dizaine de villes européennes, dont Issy-les-Moulineaux (92).

**Le ferroviaire : la conversion en cours des flottes de trains diesel.** Le renouvellement prochain des rames mises en service dans les années 80 représente une opportunité de premier plan pour le maintien de liaisons régionales roulant sur des tronçons non électrifiés. La technologie est opérationnelle. Des rames à hydrogène sont en service en Allemagne (Coradia iLint développé par Alstom). Elles sont en cours de développement en Asie (Japon, Corée, Chine) et en Europe (Espagne, Royaume-Uni). En France, un prototype est attendu en 2023 pour des ouvertures de lignes annoncées en 2025.



Chéreau

## Chéreau, pour une chaîne du froid à l'hydrogène

Le spécialiste de la remorque Chéreau croit en l'hydrogène comme source d'énergie propre. Il l'a montré à travers le projet ROAD de remorque frigorifique H<sub>2</sub> développée avec H2Sys, qui va déboucher sur une offre industrielle Hydrogen Power H<sub>2</sub>. Présentée au salon Hyvolution 2020, elle est en phase de test opérationnel chez un transporteur normand.

L'entreprise normande ne s'arrête pas là. Avec son programme H2ColdChain, elle vise à remplacer le Diesel par de l'hydrogène vert sur toute la chaîne logistique du froid : mise à disposition des transporteurs des semi-remorques frigorifiques fonctionnant à l'hydrogène, mais aussi - dès que possible - des tracteurs, ainsi que des points de production et de recharge d'hydrogène sur le site de chacun des acteurs, en combinant des panneaux photovoltaïques, un électrolyseur et un réservoir de stockage.



## LES FERRIES AUSSI

L'armateur danois DFDS vient d'annoncer un projet de ferry de forte capacité pour la liaison Copenhague Oslo pour 2027 (autonomie 48h, puissance 23 MW) dans le cadre d'un consortium réunissant notamment Ballard Power System et ABB. De son côté, l'architecte naval franco-norvégien LMG Marin a conçu un ferry à hydrogène liquide pour le norvégien Norled. La construction se poursuit actuellement aux chantiers Westcon et doit se terminer en 2021.



© LMG Marin

### Le maritime et l'aérien : des opportunités de taille

L'utilisation de l'hydrogène constitue également une piste d'amélioration du bilan carbone dans les secteurs maritimes, fluviaux et aériens énergivores, aujourd'hui fortement émetteurs de CO<sub>2</sub>.

**Dans le transport maritime et fluvial.** Des démonstrateurs sont déjà opérationnels sur des puissances motrices de petite capacité, comme le Navibus H<sub>2</sub> à Nantes (2x 5KW). La mise à l'eau de navires et bateaux de puissance élevée (jusqu'à 2 MW) est envisagée à court terme pour des navettes à passagers, de la recharge à quai, du fret fluvial ou encore des navires de maintenance et de service portuaire. L'hydrogène est également une opportunité de décarbonation pour le grand maritime (ferries ou porte-conteneurs). Propulsion principale ou auxiliaire, liquide ou gazeux, piles à combustible ou combustion, hydrogène ou e-fuels, les combinaisons ne manquent donc pas pour apporter des réponses au plus près des besoins.

**Dans le transport aérien.** Des solutions hydrogène sont en cours de finalisation pour des petits avions de type avion de tourisme avec une commercialisation prévue en 2022 pour Alérion, le biplace à hydrogène de Mauboussin (Belfort). Quant aux modèles moyens et longs courriers, les constructeurs font face à des défis R&D d'envergure. Airbus a annoncé travailler

sur trois prototypes d'avions à hydrogène, pour un démonstrateur qui serait prêt à décoller à partir de 2035 (cf. p27).

## Faciliter l'intégration des énergies renouvelables dans les systèmes énergétiques

### Les services réseaux et le Power-to-Gas

La production d'électricité renouvelable d'origine solaire ou éolienne est variable, pas toujours en phase avec la demande. Le Power-to-Gas consiste à transformer l'électricité en gaz, notamment lors des pics de production. Par leur flexibilité les électrolyseurs peuvent fournir des services d'équilibrage au réseau électrique en absorbant les variabilités de la production d'énergies renouvelables, notamment sur des pas de temps longs (mois/année) pour lesquels les batteries ou l'effacement sont inopérants. Ce dispositif répond à différentes problématiques des réseaux de transport, stockage et distribution d'énergie. Les électrolyseurs sont dès à présent en mesure de soulager certaines zones de tension locales. Le Power-to-Gas permet également de décarboner les réseaux gaziers en injection directe ou sous forme de méthane de synthèse obtenu lors de l'étape de méthanation (combinaison de CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>).

## Quand le gaz devient vert

Jupiter 1000 est le premier démonstrateur de Power-to-Gas à échelle industrielle raccordé au réseau de transport du gaz en France. Piloté par GRTgaz, ce démonstrateur situé à Fos-sur-Mer a produit ses premiers kilos d'hydrogène en 2018. La moitié de l'hydrogène produit, combiné au CO<sub>2</sub> capté auprès d'un industriel à proximité est convertie en méthane de synthèse (méthanation) dont les premières molécules ont été injectées dans le réseau en début d'année. GRTgaz développe actuellement un autre démonstrateur dans le cadre du projet FENHYX ; une plateforme de recherche qui reproduit les fonctionnalités des réseaux gaziers destinée à étudier les conditions d'accueil du maximum d'hydrogène et autres énergies décarbonées dans le réseau gazier.

Le démonstrateur pionnier de Power-to-gas GRHYD, lancé en 2014 à Cappelle-la-Grande (Nord) et achevé cet été a démontré qu'un réseau de gaz neuf, associé à des chaudières et des cuisinières récentes, pouvait supporter jusqu'à 20 % d'hydrogène dans le gaz naturel.

D'autres voies de méthanation sont possibles, comme dans le projet Hyaunais (agglomération d'Auxerre) qui couple un électrolyseur à une installation de stockage de déchets non dangereux produisant du biogaz. Une partie de l'hydrogène produit alimentera une flotte de bennes à ordures, le reste converti en gaz de synthèse alimentera le réseau. La mise en service est prévue pour 2022.





Face aux quantités importantes d'hydrogène nécessaires, différentes solutions de stockage et de distribution stationnaires doivent être déployées, comme dans le cadre du projet Hygeo, projet pilote lancé cet été par Hydrogène de France sur la commune de Carresse Cassaber (64).

### Des solutions complètes pour la production décentralisée d'énergie

**Des solutions intégrées de stockage d'énergie renouvelable et de cogénération d'énergie (chaleur, électricité).** Au cœur du système, un électrolyseur et une pile à combustible réversible qui vont assurer le stockage de l'énergie dans des batteries lorsque les productions électriques, pour la restituer en électricité ou en chaleur quand les besoins dépassent les ressources. L'énergie restituée peut aussi alimenter des stations de recharge de véhicules à hydrogène. Ces solutions peuvent être développées à l'échelle d'un bâtiment, d'un quartier – notamment dans le cadre de projets d'éco-quartiers (cf. p34).

**Production de chaleur.** Les chaudières à hydrogène assurent la production de chauffage et d'eau chaude sanitaire tout en couvrant tout ou partie des besoins en électricité du local qu'elles équipent, du petit résidentiel à l'immeuble de bureaux. Les modèles actuellement en service, développés par des acteurs historiques du marché de la chaudière, fonctionnent avec une pile à combustible alimentée en gaz naturel ; leur utilisation se développe au Japon, aux Etats-Unis et plus récemment en Allemagne. En France des tests utilisateurs sont actuellement en cours, dans le cadre d'un projet piloté par l'ADEME.

### Molène : Une autonomie électrique propre

Molène (141 habitants) fait partie des trois îles bretonnes, avec Ouessant et Sein, qui ne sont pas raccordées par un câble électrique au continent. L'alimentation électrique est assurée par une petite centrale au fioul, un dispositif coûteux et polluant. Molène Stockage H<sub>2</sub> est un projet porté par EDF, la collectivité et le syndicat départemental d'énergie du Finistère. Le projet consiste à mettre en place un système de stockage et de pilotage de l'électricité produite par la future ferme photovoltaïque.

La production solaire excédentaire sera stockée à court terme par des batteries lithium-ion et à long terme grâce à une chaîne à hydrogène comportant trois éléments : un électrolyseur pour produire de l'hydrogène, un réservoir pour stocker l'hydrogène et une pile à combustible pour restituer l'énergie. Après l'expérience réussie du cirque de Mafate opérée à la Réunion par Powidian, la mise en œuvre de ce dispositif innovant gagne nos latitudes.



**La flamme à hydrogène.** Basée sur la combustion directe d'hydrogène et d'oxygène, des applications de production de chaleur développées dans l'industrie sont en cours d'adaptation au résidentiel, avec en France, de nombreux projets menés par la société Bulane (cf. p31).

**Les générateurs à hydrogène** sont aujourd'hui opérationnels, en remplacement des générateurs diesel. Flexibilité, propreté, caractère silencieux, stabilité du courant fourni, leurs avantages sont nombreux et leur utilisation répond à une diversité de situations : alimentation de sites critiques ou isolés (data centers, relais téléphoniques), zones non interconnectées comme les îles ou zones de montagne, d'événements (festivals, ...) ou encore courant à quai dans les ports.

### DES GÉNÉRATEURS DOUBLEMENT DE SECOURS

Grâce à deux start-up françaises, les secours civils allemands et japonais peuvent compter sur l'hydrogène pour disposer d'une électricité fiable et sûre durant leurs interventions. Le système BOXHys de la start-up H2Sys a trouvé sa place à bord d'un camion de pompier nouvelle génération mis au point par un constructeur allemand spécialisé. Associée au générateur d'hydrogène du québécois Apollon Solar, la pile à combustible TrekHy de Pragma Industries a trouvé sa place dans un groupe électrogène hyper compact et autonome.







## UNE STRATÉGIE NATIONALE POUR UNE FILIÈRE STRATÉGIQUE

La filière française de l'hydrogène s'appuie sur des décennies d'expérience et s'inscrit dans une dynamique européenne et mondiale porteuse. Présente sur l'ensemble de la chaîne de valeur, elle est en mesure de devenir compétitive sur un grand nombre de segments. Avec la stratégie nationale rendue publique en septembre 2020 se mettent en place les conditions d'un passage à l'échelle pour une filière dont la valeur ajoutée environnementale se double d'une valeur ajoutée industrielle et économique.

### Valeur ajoutée technologique

Avec des grands groupes présents à l'international, la France dispose de compétences fortes au sein de la filière dite historique : production d'hydrogène industriel, transport/distribution et enfin consommation à travers les industries chimiques et pétrolières.

Depuis les années 2000 et le développement de l'intérêt pour l'hydrogène-énergie, un réseau de PME innovantes a émergé pour développer les nouvelles applications : process industriels, mobilités, services réseaux, énergie pour le bâtiment.

Soutenus par les acteurs publics, tous se mobilisent pour améliorer les technologies de pointe sur toute la chaîne, garantir la qualité technique des équipements et favoriser le développement des nouveaux usages, en réponse aux attentes des utilisateurs finaux en termes de performance, de coût et de confort d'usage.

### Des technologies-clés arrivées à maturité

Les technologies sont éprouvées et prêtes à un déploiement d'envergure dans les domaines où l'hydrogène constitue un vecteur-clé de décarbonation. Et Les acteurs français sont présents sur l'ensemble de la chaîne de valeur : électrolyse et

procédés de production d'hydrogène renouvelable et bas carbone, transport, stockage, distribution, solutions adaptées aux applications finales (industrie et mobilité notamment).

### Les acteurs publics, catalyseurs de la recherche

Le tissu industriel de pointe de la filière s'appuie sur la qualité des laboratoires des centres de recherche (CEA, CNRS) et des universités, ainsi que sur l'impulsion et le soutien des agences nationales (ADEME, ANR) à travers des appels à projets.

### Une communauté de chercheurs reconnue

**350** chercheurs et ingénieurs spécialistes de l'hydrogène,

Depuis 2014,

**+ de 2500** publications

**+ de 200** brevets déposés

**+ de 290** nouveaux docteurs formés

Dans ce cadre, les PME/PMI innovantes de la filière sont souvent issues de start-up émanant de la recherche publique. Leur développement passe ensuite par des projets et des prises de participation des grands groupes (cf. p28).

Les Pôles de compétitivité jouent également un rôle dans le développement des technologies hydrogène, en fédérant les acteurs (grands groupes, PME, laboratoires de recherche et instituts de formation) autour de projets de R&D et en contribuant au développement de la stratégie nationale de recherche.

### L'IFHy et H2LAB, pour renforcer le continuum Recherche- Industrie

L'interfaçage entre la recherche publique et l'industrie est une clé essentielle de la structuration de la filière, à travers des partenariats public-privé qui renforceront le tissu industriel. Cette préoccupation a présidé à la création du Groupement d'Intérêt Scientifique "Initiative Française pour l'Hydrogène (IFHy)" actuellement en cours de montage. Cette structure vise à établir les feuilles de route technologiques proposées par le monde académique et priorisées par les industriels :

- technologie d'électrolyse à haute température,
- réservoirs de stockage embarqués,
- nouveaux procédés de fabrication de pile à combustible.

Quant à l'H2Lab, il s'agit d'une plateforme technique qui mutualise une soixantaine d'équipements de test de performance et d'endurance pour répondre aux besoins des industriels dans ces trois mêmes domaines prioritaires.

## HORIZON 2030

A partir de 2030 un marché encore plus vaste est potentiellement accessible, représentant un nombre croissant de secteurs clés : chimie, matériaux, énergie/réseaux, construction et mobilités de forte puissance.

### Des perspectives économiques significatives

Avec des entreprises françaises déjà leader sur des segments porteurs de la filière, développer les usages de l'hydrogène va permettre de pérenniser et d'accélérer la création de valeur de secteurs à fort potentiel.

#### Le potentiel d'un marché national captif

Au cours de la décennie qui s'ouvre, le développement de la filière de l'hydrogène renouvelable et bas-carbone peut s'articuler autour de deux axes prioritaires particulièrement porteurs sur le marché français :

- la décarbonation de l'hydrogène industriel,
- le développement de la mobilité et prioritairement de la mobilité lourde en ciblant les flottes captives des opérateurs privés et publics (flottes commerciales, bus, BOM) pour amorcer le développement simultané de l'offre et de la demande.

Sur les deux axes, et plus spécifiquement sur celui de la mobilité, l'hydrogène décarboné doit gagner en compétitivité et bénéficier d'une massification de la demande, notamment via l'implication des territoires (cf. partie 4).

En amont, l'électrification de la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau dispose d'un fort potentiel de croissance, du fait de la maîtrise des technologies et de l'avantage concurrentiel d'une électricité faiblement carbonée (électricité d'origine nucléaire et potentiel d'intégration massive de l'électricité d'origine renouvelable).

### Une place à prendre à l'international

Le rôle incontournable de l'hydrogène décarboné dans une transition vers une économie neutre en carbone est reconnu à travers le monde entier et la France peut s'ouvrir de nouvelles opportunités commerciales dans des marchés en expansion. Ses technologies s'exportent dès à présent sur des segments où son expertise et ses compétences ne sont plus à prouver, notamment la production d'hydrogène décarboné ou les équipements de mobilité.

#### Renouveau industriel et souveraineté énergétique et technologique

Compte tenu de ses atouts et des perspectives d'un contexte international porteur pour l'hydrogène bas carbone, la France pourra tirer de larges bénéfices du déploiement de sa filière hydrogène.

#### Coupler décarbonation et industrie du futur pour créer de l'emploi en France.

Développer les activités hydrogène entraînera des montées en compétence, permettra la création de nouveaux emplois et la reconversion dans des secteurs importants de l'économie française comme l'énergie, la chimie, l'aéronautique, le ferroviaire, la sidérurgie ou encore l'automobile (cf. p26).

#### Vecteur de réindustrialisation et/ou de nouvelles activités industrielles décarbonées.

L'implantation de sites de production d'hydrogène décarboné, prélude au développement d'écosystèmes hydrogène complet, devra se faire dans les zones industrielles et portuaires ou dans les

zones proches des lieux de consommation ou de stockage massif d'hydrogène.

**Vecteur d'indépendance énergétique.** Diversifier le mix énergétique en développant les utilisations de l'hydrogène énergie permettra non seulement de réduire la dépendance de la France aux hydrocarbures mais aussi d'intégrer massivement les énergies renouvelables et de les piloter au plus près des besoins.

**Vecteur d'indépendance technologique.** La filière française se caractérise par sa capacité à maîtriser l'ensemble des briques technologiques de l'hydrogène décarboné, de la production au développement des usages.

### Une filière française bien placée sur des segments porteurs

- Fabrication, matériaux et composants stratégiques pour les piles à combustible et réservoirs ;
- Fabrication et exploitation d'équipements de production d'hydrogène, particulièrement les électrolyseurs ;
- Fabrication et exploitation d'équipements spécialisés pour le transport et la distribution d'hydrogène : compresseurs, réservoirs, camions de transport d'hydrogène, tubes et unités de liquéfaction, stations)... en particulier la liquéfaction d'hydrogène comme levier pour le conditionnement et le transport.



### Des contrats d'envergure à l'export

**Le train à hydrogène Coradia iLint d'Alstom.** Un an et demi d'essais démarrés en septembre 2018 et plus de 180 000 kilomètres parcourus dans la région de Basse Saxe (Allemagne) se sont concrétisés dans une commande de 14 trains de série livrable en 2022.

Le spécialiste français de la traction ferroviaire à hydrogène a été sélectionné pour d'autres tests en Europe - terminés avec succès aux Pays-Bas ou en cours de réalisation (Autriche et Italie). L'objectif est de remplacer des trains diesel par des trains à traction hydrogène sur des lignes régionales.

**Les réservoirs de Faurecia** vont équiper des poids lourds Hyundai. L'équipementier français, expert en systèmes de stockage hydrogène, va fournir des kits complets à 1600 poids lourds du constructeur coréen : sept réservoirs par camion - soit 11 200 au total -, un cadre permettant de fixer les sept réservoirs à l'arrière de la cabine ainsi que les valves et lignes

permettant la distribution de l'hydrogène. Les livraisons vont commencer en 2021 et s'étaler sur quatre ans.

**McPhy et le projet Djewels de Nouryon et Gasunie** aux Pays-Bas. La spin off du CNRS, spécialiste des équipements de production et distribution d'hydrogène va installer une plateforme d'électrolyse de 20MW au cœur d'un parc chimique néerlandais pour convertir l'électricité issue de source renouvelable en hydrogène zéro-carbone et alimenter une production de méthanol de synthèse.

**Gaussin, spécialiste de la manutention sur roues** et pionnier dans la traction hydrogène va installer au Qatar deux unités d'assemblage de véhicules électriques dédiés aux ports maritimes, aux aéroports et à la logistique, dans le cadre d'une licence de 20 ans avec un constructeur local. A noter que le Qatar ambitionne une neutralité carbone en 2030.



# PERSPECTIVES ÉCONOMIQUES ET EMPLOI

**8-9 Md€**

de chiffre d'affaires annuel potentiel pour l'hydrogène et ses applications sur le marché français

**2 000**

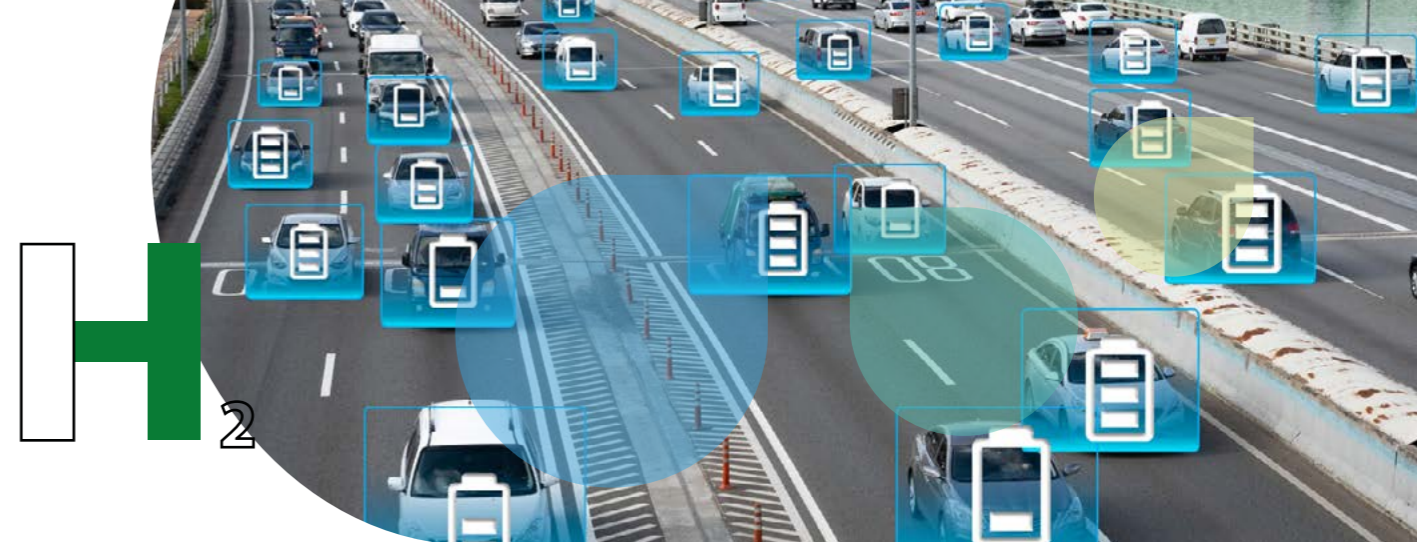
Emploi filière hydrogène 2020

**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

**>100 000**

Emploi filière hydrogène Objectifs 2030



## L'hydrogène devient une industrie stratégique pour la France

Comme pour tout marché émergent faisant appel à des technologies de pointe, le développement de la filière hydrogène nécessite l'implication des pouvoirs publics.

### L'affirmation d'un engagement en 2018

L'accompagnement de la dynamique d'innovation de la filière par les pouvoirs publics s'est incarné dans la formalisation d'un Plan National Hydrogène en 2018. Un Plan doté de 100 M€ autour de trois axes stratégiques : décarbonation de la production d'hydrogène, développement des capacités de stockage des énergies renouvelables et développement des solutions zéro émission pour les transports.

Les territoires se sont fortement mobilisés pour construire des feuilles de route de déploiement de l'hydrogène et pour répondre aux appels à projets de l'ADEME lancés dans le cadre du Plan National. Ces appels à projets dédiés aux écosystèmes de mobilité et à la production d'hydrogène décarboné pour les industriels ont été financés à hauteur de 91,5 M€ en 2019. Avec ce Plan, une impulsion a été donnée par l'Etat, mais sa consolidation dans la durée restait à garantir pour donner des perspectives aux investisseurs et industriels.

### Le tournant de 2020, quand l'économie s'allie à l'écologie

La dynamique de la filière s'est accélérée en 2019, avec des prises de position affirmées de grands acteurs de l'énergie en faveur de l'hydrogène et le développement de start-up et PME/PMI innovantes (cf. p28). Et si 2020 a commencé sous de bons auspices pour la filière, cette dynamique a été perturbée par la soudaineté de la pandémie et de ses conséquences.

## UN DÉBUT D'ANNÉE PORTEUR

**20 janvier.** Réunion du Hydrogen Council à Versailles dans le cadre du sommet Choose France qui réunit 200 chefs d'entreprises sous l'égide du Président de la République. La filière est sous les feux de l'actualité, avec la publication du rapport du Hydrogen Council "Path to Hydrogen Competitiveness: a Cost Perspective", qui dresse les perspectives du marché de l'hydrogène aux Etats-Unis, en Europe, en Chine et dans la zone Corée/Japon.

**21 janvier.** Annonce du Volet Hydrogène du Pacte productif, avec deux Appels à Manifestation d'Intérêt à venir :

- "Projets innovants d'envergure européenne ou nationale sur la conception, la production et l'usage de systèmes à hydrogène."
- "Aide à l'émergence de la mobilité hydrogène dans le secteur ferroviaire".

**Février.** L'hydrogène décarboné est identifié comme prioritaire parmi les 11 marchés-clés retenus par le collège d'experts réuni autour du Conseil de l'Innovation et sur lesquels la France concentrera les moyens de la nouvelle vague d'investissements d'avenir.

**Avril.** Un signal fort de la capacité de mobilisation de la filière : 160 projets candidats aux deux AMI représentant un montant d'investissement de 32,5 Md€.

## Un relais de croissance pour l'industrie

Pour faire face à la contraction de certains marchés, des fournisseurs d'équipements industriels prévoient de reconvertir certains de leurs sites dans l'hydrogène. Ce mouvement observable depuis la fin de la précédente décennie s'est accéléré avec l'impact de la crise générée par la pandémie de Covid-19. Sont particulièrement concernés, les fournisseurs de composants et solutions pour l'aéronautique, l'automobile ou les secteurs gaziers et pétroliers. Bosch souhaite ainsi reconvertir son site de Rodez, spécialiste des injecteurs diesel, dans la production de piles à combustible pour les semi-remorques frigorifiques (projet Fresh2).



**POIDS DE L'INDUSTRIE AUTOMOBILE EN FRANCE EN 2020**

**100 Md d'euros**  
CHIFFRE D'AFFAIRES DES CONSTRUCTEURS ET EQUIPEMENTIERS

**225 000 emplois**



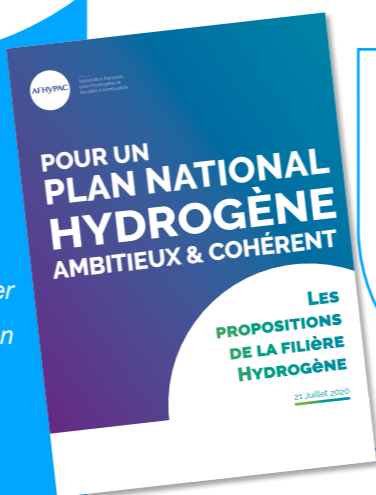


© France Hydrogène  
Les ministres Barbara Pompili et Bruno Le Maire annoncent ensemble le 8 septembre lors de la conférence organisée par France Hydrogène (ex-AFHYPAC) une Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné.



Ce soutien va permettre à la France de changer d'échelle, de prendre une place de premier plan dans l'économie bas-carbone de demain et de s'intégrer pleinement dans la dynamique européenne. Une nouvelle étape est franchie avec la reconnaissance de l'hydrogène comme industrie stratégique à part entière, créatrice de valeur et d'emplois sur le territoire national.

**Philippe Boucly**  
Président de France Hydrogène  
(ex-AFHYPAC)



8 SEPTEMBRE 2020, PUBLICATION DE LA STRATÉGIE NATIONALE POUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'HYDROGÈNE DÉCARBONÉ

DOTATION SUR 10 ANS **7,2 Md€**

Des objectifs à 2030

**6,5 GW** d'électrolyse en 2030

**6 Mt** de CO<sub>2</sub> évitées/an

Création de **50 à 150 000** emplois

OCTOBRE 2020, PREMIERS DISPOSITIFS DE SOUTIEN LIÉS À LA STRATÉGIE NATIONALE. LANCEMENT DE DEUX APPELS À PROJETS PAR L'ADEME

**Ecosystèmes territoriaux hydrogène**

En favorisant la création de consortiums réunissant des collectivités et des industriels fournisseurs de solutions, soutenir le déploiement d'écosystèmes territoriaux de grande envergure regroupant différents usages (industrie et mobilité), pour optimiser les économies d'échelle dans des écosystèmes associant infrastructures de production/distribution et usages de l'hydrogène.

**Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène**

Soutenir des travaux d'innovation, permettant de développer ou d'améliorer les composants et systèmes liés à la production, au transport d'hydrogène et à ses usages tels que les applications de transport ou de fourniture d'énergie.

Dotation: **275 M€** d'ici 2023

Dotation: **350 M€** d'ici 2023

## Une Stratégie nationale pour le passage à l'échelle de la filière

Le contexte de la crise sanitaire a contribué à rebattre les cartes des politiques d'investissement publics. L'Etat français a répondu présent avec un plan de relance inédit dans les moyens mis en œuvre, au sein duquel la transition énergétique joue un rôle central. Dans ce contexte, l'hydrogène décarboné est clairement et officiellement identifié comme un pilier de la transition et fait l'objet d'une stratégie nationale d'envergure. La filière est dotée d'un financement à la hauteur des enjeux : passer à l'échelle pour soutenir le développement d'une économie et d'une industrie décarbonées...ou quand l'économie travaille main dans la main avec l'écologie.

Reprenant les recommandations des nombreuses études et analyses portant sur les atouts et

perspectives de l'hydrogène dans une perspective de transition écologique\*, la Stratégie nationale s'articule autour de trois axes prioritaires

- Décarboner l'industrie en faisant émerger une filière française de l'électrolyse
- Développer une mobilité lourde à l'hydrogène décarboné
- Soutenir la recherche, l'innovation et le développement de compétences afin de favoriser les usages de demain

Son développement mobilisera notamment les outils financiers développés par la Commission Européenne dans le cadre du plan de relance européen dans sa partie Next Generation EU

\* "Energy Technology Perspectives 2020" de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), "Développons l'hydrogène pour l'économie française", étude prospective du cabinet McKinsey pour l'AFHYPAC et ses partenaires en avril 2018, "Les propositions de la filière pour un plan national hydrogène ambitieux et cohérent", Manifeste de France Hydrogène (ex AFHYPAC), du 21/07/2020

## L'hydrogène, un enjeu européen

Avec sa Stratégie nationale, la France prend pleinement sa place dans une Union Européenne de l'hydrogène, qui a été consacré comme technologie clé par la Commission pour atteindre ses objectifs climatiques et la création d'emplois industriels.

Le Green Deal publié fin 2019 avait déjà identifié l'hydrogène comme levier incontournable de la transition énergétique. Et le 8 juillet 2020, la Commission européenne a publié sa stratégie hydrogène pour l'Union européenne. A cette occasion, a été créée la European Clean Hydrogen Alliance (ECH2A), ou Alliance européenne pour l'hydrogène propre. Cette instance permettra d'organiser et de coordonner les travaux collectifs des Etats membres et des différents industriels pour garantir la bonne articulation entre les stratégies nationales et les travaux menés au niveau européen. Plusieurs Etats membres ont déjà exposé leur stratégie sur l'hydrogène, comme l'Allemagne ou le Portugal. D'autres ont prévu de le faire prochainement. La France sera également mobilisée, aux côtés de ses partenaires, pour l'instruction et la construction d'un Projet Important d'Intérêt Européen Commun (PIIEC) pour l'hydrogène et elle s'impliquera dans les travaux permettant de lever différents verrous (réglementaires, normatifs, financiers) afin de favoriser l'émergence d'une chaîne de valeur européenne durable et résiliente. Par ailleurs, le partenariat public-privé Fuel Cells & Hydrogen Joint Undertaking (FCH-JU), qui a financé pour 1 milliards d'euros de R&D sur l'hydrogène entre 2014 et 2020, va être prolongé jusqu'en 2027 dans le cadre du programme Horizon Europe (Clean Hydrogen Partnership).





# ACCÉLÉRATION DE LA DYNAMIQUE INDUSTRIELLE

Enjeux de la transition écologique, maturité des technologies, développement de stratégies hydrogène au niveau national et international...le temps est venu pour la filière de passer des démonstrateurs à l'industrialisation, tout en maintenant les efforts en R&D pour innover, accroître les performances, la compétitivité des solutions et de leurs applications.

La filière française est à un moment charnière de son évolution. Elle se met aujourd'hui en ordre de marche face aux enjeux de l'hydrogène décarboné, en France comme hors de nos frontières. Historiquement constituée de grands groupes présents sur le marché de la production et du transport de l'hydrogène pour les usages industriels, elle a vu émerger de nombreuses start-up et PMI/PME positionnées sur les solutions de l'hydrogène énergie depuis une dizaine d'années.

## Les grands groupes répondent présents

### Rapprochement et diversification sur le segment de la production

Le mouvement monté en puissance en 2019 se poursuit cette année. Les initiatives, partenariats et prises de participation se multiplient, en premier lieu sur la partie production et distribution d'hydrogène décarboné. L'acteur historique Air Liquide, pionnier du captage de CO<sub>2</sub> en sortie de production poursuit ses partenariats dans la production de biométhane. Les énergéticiens se dotent d'entités ou filiales dédiées (Hynamics chez EDF pour la production d'hydrogène bas carbone) et

## Hydrogène décarboné : un PIIEC en 2021

Le projet important d'intérêt européen commun (PIIEC ou IPCEI en anglais) est un dispositif qui permet aux États membres de l'UE d'apporter un soutien public à des projets transnationaux d'innovation proches du marché et capables de contribuer au soutien de la croissance économique, de l'emploi et de la compétitivité de l'Europe. Les aides accordées adressent notamment les travaux de première industrialisation. Un accord portant sur un PIIEC Hydrogène va permettre d'accompagner l'industrialisation de toutes les briques technologiques clés, de la production aux différents usages. La France réserve une dotation financière exceptionnelle de 1,5 milliard d'euros pour ces actions, avec un objectif prioritaire de faire émerger sur le territoire des projets de "gigafactorie" d'électrolyseurs. Des échanges rapprochés avec l'Allemagne permettront également d'identifier des projets communs à porter dans le cadre de ce PIIEC.

*Je suis favorable à ce que l'on fixe des seuils minimaux de gaz vert ou d'hydrogène dans le gaz [...] si on crée un marché de grande taille, on peut faire baisser les coûts.*

**Patrick Pouyanné**  
PDG de Total

*dans la Revue de l'Énergie, juin 2020*

s'engagent en annonçant des objectifs chiffrés. D'ambitieux partenariats voient le jour comme celui d'Engie et Ariane Group pour la production d'hydrogène liquide renouvelable, destiné à terme à alimenter les mobilités fluviales et maritimes longue distance. Les groupes pétroliers à l'instar de Total définissent leur feuille de route. Directement confrontés aux enjeux de la réduction des Gaz à effet de serre, ils intègrent l'hydrogène décarboné dans leur stratégie de diversification avec l'exploration des techniques de stockage du CO<sub>2</sub> issu du vaporeformage ou la possibilité de "verdir" le gaz naturel via le Power-to-Gas (cf. p12).

### Montée en puissance du segment de l'électrolyse

Aujourd'hui, l'électrolyse de l'eau est le procédé privilégié pour la production d'hydrogène décarboné



en quantité industrielle. Sur un segment à fort potentiel de croissance, les acteurs historiques affichent leurs ambitions, comme Air Liquide qui après une première unité au Danemark en 2017, finalise la construction d'un site de forte capacité au Québec. De nouveaux acteurs apparaissent, et notamment des grands groupes spécialisés dans les infrastructures énergétiques (Bouygues Énergies, TechnipFMC, Schlumberger, GTT,.) qui se diversifient en investissant dans des PME innovantes spécialistes de technologies clés. La demande est soutenue par des entreprises industrielles grosses consommatrices d'hydrogène - quand elles ne se transforment pas elles-mêmes en productrices en installant des unités d'électrolyse sur leurs propres sites.





Le train à hydrogène d'Alstom roule sur de nombreuses lignes régionales en Europe. Pour la France, la première mise en circulation des tractions hydrogène produites sur le site de Tarbes est prévue en 2024. (cf. p34).

## Poids lourds à hydrogène : une dynamique surtout portée par des constructeurs étrangers

Des grands acteurs de la construction ou de la motorisation nouent des alliances avec des spécialistes des piles à combustibles de grande capacité : Cummins a investi dans Hydrogenics mais également Loop Energy, Iveco s'est allié à Nikola, et Toyota à Kenworth. GreenGT le spécialiste français de la propulsion électrique hydrogène haute puissance développe également un modèle de camion frigorifique de livraison de 40t avec deux partenaires suisses : le réparateur/constructeur Larag et le groupe de distribution Migros qui en assurera l'exploitation commerciale dès 2021.

Différents modèles de poids-lourds sont en développement, en test voire en cours de déploiement - un 3,2 t par DongFeng ou encore un 25 tonnes pour Toyota associé à Hino ainsi que Scania.



Le Businova H2 de Safran en service dans plusieurs agglomérations en France

## Grandes manœuvres chez les équipementiers automobiles

Les groupes automobiles multiplient également les projets industriels. Symbio, devenue filiale de Faurecia et Michelin est spécialisée dans les systèmes prolongateurs qui équipent aujourd'hui les modèles VUL de Renault et demain ceux de PSA. Elle va construire une unité de production de piles à combustible annoncée comme la plus grande d'Europe, dans l'agglomération lyonnaise. Faurecia souhaite également asseoir son positionnement sur les réservoirs haute pression, pour lesquels elle vient de signer un contrat commercial de 4 ans avec la division poids lourds de Hyundai. Quant à Plastic Omnium spécialiste des réservoirs haute pression, l'entreprise se positionne sur le marché des piles à combustible via un partenariat avec l'équipementier allemand ElringKlinger (EKPO Fuel Cell Technology).

## Accélération de la mobilité lourde

Aujourd'hui, le bus électrique à hydrogène est une des solutions privilégiées en alternative aux techniques conventionnelles thermiques. Safran, constructeur de bus toutes motorisations, se positionne sur ce segment et est pour l'instant le seul constructeur en France et l'un des rares en Europe. L'entreprise albigeoise propose un modèle à hydrogène qui vient d'être référencé par CATP, acheteur public spécialisé dans les transports

et 80 % de son carnet de commandes concerne aujourd'hui les bus à hydrogène. Elle passe à la vitesse supérieure avec l'annonce de 12 millions d'euros d'investissement en R & D pour les trois ans à venir et d'une levée de fonds de 26 millions d'euros pour la construction d'une nouvelle usine.

Le groupe Gaussin, spécialiste dans l'engineering du transport et de la logistique a dévoilé en septembre ses deux nouveaux engins à propulsion hydrogène, l'un pour entrepôts de marchandises (traction 38T), l'autre pour les zones portuaires (traction 75T). La production se fera sur dans les usines du groupe à Héricourt (70).

D'autres acteurs du transport prennent position en faveur de l'hydrogène avec du matériel prêt à être déployé, comme les remorques frigorifiques de Chéreau (cf. p11) ou les châssis de bennes à ordures de Renault PVI. Le développement d'une production en série dépend de multiples facteurs, parmi lesquels la demande des utilisateurs finaux, privés et publics.

### Sur mer et dans les airs, des solutions à l'étude

Les zones portuaires et aéroportuaires abritent des projets de développement d'écosystèmes hydrogène combinant production d'hydrogène renouvelable et usages de mobilité (manutention et transports de passagers). Pour l'armateur CMA-CGM, la contribution de l'hydrogène à la réduction de son bilan carbone passera dans un premier temps par

## Airbus et l'opération ZEROe

Visant l'avion "zéro émission" l'avionneur européen a annoncé le lancement concomitant de trois projets d'avions hydrogène : un turboréacteur, un turbopropulseur et une aile volante. Le nom de code ZERO s'applique aux trois concepts, dont un seul sera retenu pour une mise en service commerciale à horizon 2035. Le défi technique est de taille. Pour des raisons d'encombrement et de rendement, l'hydrogène est utilisé sous sa forme liquide. Sa température de stockage étant de - 253 °C, elle impose des systèmes de distribution d'une complexité encore jamais vue dans l'aviation civile.

la substitution de l'hydrogène au diesel dans les conteneurs réfrigérés qui peuvent actuellement consommer jusqu'à 20 % de l'énergie utilisée par un navire. Le groupe marseillais est par ailleurs très engagé dans des partenariats de recherche sur la propulsion hydrogène. Sur ce segment, Hydrogène de France est engagé avec le groupe suisse d'électronique ABB pour fabriquer des systèmes de piles à combustible de l'ordre du mégawatt capables d'alimenter des navires de haute mer en complément d'autres systèmes.

Dans les airs, la filière aéronautique doit s'engager dans la transition énergétique, à l'instar de l'industrie automobile, autre industrie stratégique de l'économie française. A ce titre, le plan de relance aéronautique rendu public en juin comprend un soutien massif à la recherche avec l'objectif affiché de parvenir à un avion neutre en carbone à l'horizon 2035. Plusieurs voies sont possibles : technologies de réduction de la consommation de carburant, d'électrification des appareils et expérimentation de carburants neutres en carbone. L'hydrogène entre d'ores et déjà dans la composition des carburants de synthèse décarbonés - les e-fuels. Des solutions de propulsion pour les petits avions (type avions de tourisme) sont en cours, la propulsion à hydrogène des avions de ligne est à l'étude chez Airbus, challengé par l'objectif gouvernemental de 2035.



## Les investissements et levées de fonds signent le passage à l'échelle

100 M€

Usine John Cockerill pour la production d'électrolyseurs en Alsace

140 M€

Usine Symbio de production 140 M€ pour l'usine de production de piles à combustible dans l'agglomération lyonnaise

15 M€

Usine HDF de piles à combustible de forte puissance dans l'agglomération bordelaise

## Rachat, prise de participation et levée de fonds

McPhy, 180 M€, accords d'investissement stratégiques avec Chart Industries et Technip Energies

Powidian, prise de participation de Bouygues Energie

ArevaH2Gen racheté par le groupe GTT

LHYFE, 8 M€

EODev, 20 M€

## Des tours de table en préparation

Hysilabs, nouveau tour de table pour 10 M€

Bulane, nouvelle levée de fonds de 5 à 7 M€

HySeas, préparation d'une levée de fonds de 2,5 M€

## Un réseau de PME/PMI innovantes au cœur de la filière

### Des PME/PMI au potentiel de champions industriels

Au-delà des grands groupes, la filière est animée par un ensemble de PME/PMI qui ont développé une expertise de premier plan sur les briques technologiques clés, de la production aux usages, et parmi lesquelles on citera sans être exhaustif : McPhy sur les électrolyseurs de 4 à 100 MW et plus et les stations de recharge, Sylfen, sur les électrolyseurs haute température pouvant être utilisés de façon réversible, Symbio sur les piles à combustible pour la mobilité, Helion Hydrogen Power pour les piles de forte puissance, Haffner sur la pyrogazéification,

H2Sys et EODev sur les générateurs à hydrogène, Ataway sur les stations de recharge, Pragma sur les piles à combustible pour la mobilité légère ou encore MaHytec sur le stockage et Powidian avec des solutions énergétiques stationnaires.

Ces PME sont souvent passées par l'étape start-up, issues des organismes de recherche ou de stratégie R&D des grands groupes. Elles prennent aujourd'hui de l'ampleur, via la prise de participations de nouveaux partenaires industriels ou des plans d'investissement ambitieux (voir encadré). Leur objectif est double : accélérer le changement d'échelle de leurs capacités de production sur leur cœur de métier et financer la recherche sur des équipements et solutions plus performantes.



## Des start-up bien positionnées sur la production décentralisée d'énergie

**EODEV**, émanation du projet nautique emblématique "Energy Observer" vient de présenter son modèle de générateur terrestre électrohydrogène qui combine et optimise les mix-énergétiques en fonction des besoins spécifiques des utilisateurs et des ENR disponibles localement. La distribution assurée par Eneria couvrira le marché français et, à l'export, la Belgique, le Luxembourg, l'Europe de l'Est et Algérie.

**SYLFEN** passe à l'échelle pour ses cinq ans. La start-up du CEA spécialiste des systèmes hydrogène modulaires intégrés destinés à l'autonomie des bâtiments en électricité et chaleur a quitté son incubateur grenoblois pour des locaux de 650 m<sup>2</sup> au Cheylas (Isère). L'équipe y a lancé la production de ses cinq premiers Smart Energy Hub qui seront utilisés en démonstrateurs, en France et en Europe, notamment sur l'île italienne de Procida. Une première série industrielle est prévue pour 2021 ou 2022.

## Des PME actives sur la production d'hydrogène renouvelable

La France s'est fixée des objectifs ambitieux en matière d'électricité verte et la filière de l'hydrogène renouvelable en est un levier stratégique.

Un dynamisme illustré par le changement d'échelle de LHYFE. Elle a signé cette année un accord-cadre avec le norvégien Nel, pour l'achat de 20 électrolyseurs sur quatre ans et vient de lancer la construction de son unité de production d'hydrogène renouvelable au pied du parc éolien de Bouin en Vendée.

Le complexe qui comprend 700 m<sup>2</sup> de bâtiments industriels, 200 m<sup>2</sup> de bureaux et 1 centre de R&D produira ses premiers kg d'hydrogène en 2021.

Dans le même temps des opérateurs généralistes EnR se diversifient dans l'hydrogène renouvelable. C'est le cas de la société montpelliéraine Qair, dans le cadre d'un projet multi-partenaires porté par la région Occitanie. Situé à Port La Nouvelle, le nouveau site devrait produire ses premiers kg d'hydrogène en 2023.

## L'hydrogène a le vent en poupe sur le littoral

La forte dimension maritime de la France se retrouve dans la filière hydrogène, avec de nombreux projets et start-up dont l'objet est de promouvoir une mobilité côtière (terrestre et maritime) plus respectueuse de l'environnement.

C'est le cas de la cannoise Hyseas qui a été retenue pour fournir une chaîne de traction hydrogène aux

Bateliers de la Côte d'Azur pour propulser une navette maritime qui assurera un service dans le port de Toulon d'ici 2021. Dans le même horizon temporel mais plus à l'ouest, Hynova, start-up de la Ciotat, envisage de commercialiser un yacht à hydrogène qui sera bien sûr produit dans le chantier naval de la ville.

Avec LMG Marin, la France dispose d'une expertise sur les propulsions à hydrogène de puissance plus importante. L'architecte naval franco-norvégien est en effet engagé sur des projets de ferries à hydrogène liquide qui seront opérationnels en Norvège et fonctionneront avec de l'hydrogène produit par Air liquide.

A Sète, une barge autopropulsée opérée par Nexeya et fonctionnant avec une pile à hydrogène renouvelable développée par Hélicon sera opérationnelle en 2021. Sa mission : fournir les bateaux à quai en électricité et assurer des services de collecte des déchets.



## FAURECIA se dote d'un centre de recherches de niveau mondial dédié aux réservoirs

L'équipementier automobile a inauguré le 6 octobre à Bavans (Doubs) son centre d'expertise mondial destiné à concevoir des systèmes de stockage légers qui équiperont demain les voitures, camions (comme ceux de Hyundai), trains ou tout autre véhicule doté d'une pile à combustible. L'enjeu industriel est de réduire les coûts, le poids et l'encombrement, pour obtenir des produits compétitifs offrant les meilleurs niveaux de performance. FAURECIA se donne dix ans pour diviser le coût des systèmes par quatre et augmenter leur sécurité, leur durabilité et leur recyclabilité. Actuellement, le centre emploie 60 ingénieurs et techniciens affectés à la ligne de production pilote et au centre d'essais dernier cri.



## Une logique d'innovation continue

### Les défis techniques à relever

La structuration de la filière et le passage à l'échelle dépendent de facteurs multiples.

La commercialisation massive de solutions hydrogène est notamment liée à leur accessibilité économique. Au moment où l'Etat s'engage avec le financement d'une Stratégie nationale à la hauteur des enjeux, certains efforts de recherche doivent se poursuivre en ciblant deux grandes catégories d'objectifs :

- réduire les coûts des technologies - PAC et électrolyse - avec notamment le travail sur les matériaux, dans la mesure où les technologies utilisent généralement des matériaux rares et coûteux
- améliorer la performance et la durée de vie des équipements pour être au plus près des attentes de l'utilisateur final.

### Revue de quelques projets d'innovation emblématiques

Start up, PME ou grands groupes, l'ensemble des acteurs se mobilisent souvent dans le cadre de partenariats pour déployer des projets de R&D sur toute la chaîne de valeur.

**Electrolyse haute température.** La société GENVIA va porter une technologie de rupture mise au point

par le CEA pour produire de l'hydrogène vert à moindre coût, destiné au marché mondial de l'industrie et de la mobilité, au sein du site de production d'équipements pétroliers et gaziers de Schlumberger à Béziers. Sous l'impulsion de l'Agence régionale énergie climat (Arec, Région Occitanie), elle réunit des partenaires multiples : Schlumberger New Energy, le CEA, le cimentier Vicat, Vinci Construction...

**Injection d'hydrogène dans le réseau gazier.** GRTgaz est partenaire de la société CATALYSE dans le cadre d'un projet destiné à maximiser l'injection d'hydrogène dans le réseau et préserver la durabilité des canalisations en acier existantes. Des tests de perméabilité sont en cours avant la généralisation de la mise à disposition du revêtement innovant développé par CATALYSE.

### Piles à combustible et réservoirs

HYCCO est une toute jeune start spécialisée dans les plaques bipolaires, composant essentiel des piles à combustible de type PEM utilisées dans les transports. (PEM - proton exchange membrane). Abrisée par l'incubateur de l'Ecole des Mines d'Albi, elle a mis au point une innovation portant à la fois sur les matériaux et le procédé de production. Ses nouvelles plaques sont 10 fois plus compactes et 10 fois plus légères que les plaques composites proposées sur le marché avec une durée de vie égale à celle des plaques en graphite, les plus performantes sur ce critère.

La plateforme CANOE réunit des grands groupes équipementiers automobile et énergéticiens. Son objectif est de produire une fibre de carbone "économique". Plus légère et plus résistante que les matériaux actuels des composants automobiles, elle pourrait être généralisée dans la fabrication des réservoirs destinés à stocker l'hydrogène à haute pression (700 bars vs 350).

## La question des normes et des tests

Comme dans tout secteur, les activités de la filière sont encadrées par un ensemble de normes et de réglementations, tant au niveau de la production que des usages. Les normes actuellement en vigueur conçues pour un environnement et des technologies spécifiques se doivent d'évoluer. Leur adaptation aux nouvelles technologies et aux nouveaux usages est une contribution fondamentale à un développement harmonieux de la filière. A l'international, il s'agit d'aboutir à une harmonisation des réglementations et des standards comme par exemple une définition commune de l'hydrogène renouvelable ou encore la mise en place de mécanismes de garantie d'origine.

La France s'engage dans le développement de plateformes de recherche et de tests sur son territoire destinées à définir les conditions techniques et réglementaires de segments stratégiques de la chaîne de valeur.

C'est le cas de la plateforme FenHyx opérée par GRTgaz, sur la question de l'injection d'hydrogène et de gaz décarbonés dans les infrastructures gazières.

Dans le domaine de la mobilité, le territoire de Belfort va accueillir ISTHY, premier centre d'essais et de certification des systèmes de stockage d'hydrogène (réservoirs), labellisé organisme certificateur européen indépendant.

Sa mise en service est prévue en 2023.

### Applications chauffage

Bulane a développé un système de production de flamme propre à haute température à partir d'hydrogène aujourd'hui utilisé pour des applications industrielles (chalumeau haute température). Elle s'associe à l'Institut de la mécanique des fluides de Toulouse dans le cadre d'un programme de R&D. Son objectif, transférer sa technologie aux brûleurs des chaudières équipant le bâtiment en se pluggant sur les chaudières existantes ou en entrant dans la première monte de chaudières hybrides nouvelle génération.

### Des partenariats avec les acteurs publics

Les enjeux technologiques économiques et sociétaux des technologies et solutions hydrogène sont portés par l'ensemble des acteurs économiques du pays. Les acteurs publics, centres de recherches et universités, agences et associations jouent un rôle essentiel d'impulsion et d'animation de la R&D (cf. p17). Ils sont à l'initiative de nombreux projets via les programmes de recherche et appels à projets. Ils accompagnent les entreprises dans la dynamique de développement des partenariats public-privé indispensables d'une part à l'éclosion des solutions technologiques d'avenir et d'autre part à la mise sur le marché des solutions les plus porteuses.

**Société de projets.** Ces structures co-financées par des acteurs privés (industriels, logisticiens, ...) et publics (agences nationales et collectivités territoriales) sont destinées à déployer des technologies et équipements hydrogène, comme Hynomed dans le Var, Hymulsion en Auvergne Rhône Alpes et Hyport en Occitanie. Réunissant des partenaires privés - énergéticiens et industriels, et publics (Banque des Territoires, CCI, ...), leur objectif est de soutenir des écosystèmes hydrogène complets, la mobilité étant souvent l'usage déclencheur avec le développement de stations de production et de distribution. (cf. p33)





## L'ENGAGEMENT DES TERRITOIRES : UNE DYNAMIQUE GAGNANT-GAGNANT

Vecteur de dynamisme économique et d'amélioration de la qualité de vie, l'hydrogène est un atout de taille pour les territoires et son déploiement se décline très concrètement à l'échelon local. A la fois initiateurs et facilitateurs, les territoires jouent un rôle crucial dans le développement de la demande et la structuration de l'offre, en partenariat étroit avec les acteurs industriels.

Au-delà de l'implication des acteurs industriels, le déploiement de la filière est soutenu par les acteurs locaux et différents niveaux de collectivités : intercommunalités, départements et syndicats d'énergie, régions. Le rôle d'impulsion et de soutien des institutions est pluriel.

### LA CRÉATION D'ÉCOSYSTÈMES LOCAUX

Compte tenu de la diversité des caractéristiques de production et d'usages, la filière hydrogène va se déployer selon différents modèles logistiques de production et distribution. En fonction des impératifs d'aménagement du territoire et des usages à développer, différents formats sont envisageables.

#### L'activité industrielle au cœur de systèmes centralisés

Sur des sites industriels fortement consommateurs d'hydrogène, les projets vont impliquer la production massive d'hydrogène renouvelable ou bas carbone (plusieurs dizaines de milliers de tonnes par an).

Prioritairement destiné à des usages industriels, l'hydrogène produit pourra éventuellement alimenter des usages périphériques.

Dans des bassins d'activités où les usages sont plus diversifiés, la production sera semi-centralisée et mutualisée entre différents sites industriels, ou encore entre des sites industriels et des flottes de véhicules professionnels (bus, VUL) et particuliers. C'est par exemple le cas de la Vallée de la Chimie de l'agglomération lyonnaise (voir encadré ci-dessous).

#### Des écosystèmes de mobilité multi-modale

Sous la pression de la réglementation et du grand public, la mobilité routière constitue un levier essentiel du développement des usages. A l'échelle d'une agglomération, les bus à hydrogène circulant dans l'espace urbain en sont souvent la première et la plus visible des concrétisations. Avec l'objectif de déployer 1 000 bus à hydrogène en France en 2024, le rôle de la commande publique est un levier essentiel pour le passage à l'échelle du déploiement. D'autres projets de

### MOSAHYC, une frontière 100% hydrogène

Le projet "Mosahyc" (Moselle Sarre Hydrogène Conversion), porté par les opérateurs de réseaux de transport français (GRTgaz) et allemand (CreosDeutschland) a fait l'objet d'un accord dont l'objectif est de créer un réseau de transport européen 100 % hydrogène en adaptant des infrastructures gazières déjà existantes entre la Sarre allemande, le Grand Est français et la frontière luxembourgeoise. Au programme, 70 km de canalisation pouvant atteindre une capacité de 20 000 m<sup>3</sup>/h. L'hydrogène sera dans un premier temps utilisé pour des usages de mobilité lourde dans une région connaissant de forts transits routiers quotidiens puis alimentera des usages industriels. A plus long terme, le projet ouvre la voie à d'autres conversions. L'ambition affichée est de contribuer au développement d'un écosystème hydrogène régional transfrontalier.

### L'eau du Rhône pour décarboner la Vallée de la Chimie

Aménageur des territoires traversés par le Rhône, la Compagnie Nationale du Rhône joue un rôle moteur dans la transition énergétique de la vallée de la Chimie. La CNR projette la construction d'une usine de production d'hydrogène renouvelable par électrolyse de l'eau. Alimenté en électricité d'origine hydraulique, l'outil est prévu pour être modulaire, de 10 à 20 mégawatts au départ, pour atteindre 50 mégawatts en rythme de croisière. L'hydrogène pourra être injecté dans le réseau de gaz, alimenter les sept stations d'avitaillement d'hydrogène en construction à Lyon ainsi que les industriels de la vallée de la chimie consommateurs d'hydrogène.



## Dijon, destination Hydrogène

La capitale de la Bourgogne-Franche-Comté affiche ses ambitions dans l'hydrogène avec un projet d'écosystème de mobilités d'envergure. La société Dijon Métropole Smart Energy (DMSE) créée par la métropole en partenariat avec l'entreprise Rougeot Energie et Keolis, qui va en être l'opérateur. L'objectif est de produire 5 tonnes par jour d'hydrogène vert à horizon 2028 et pour alimenter à cette date 210 bus, 45 bennes à ordures ménagères (BOM) et 1.000 à 2.000 véhicules légers de service. Le projet va démarrer en 2022 avec une première station à hydrogène qui sera utilisée par 35 bus et 10 BOM. Les trois quarts de l'électricité nécessaire à la fabrication de cet hydrogène seront produits grâce à un incinérateur de déchets ménagers via un turboalternateur. Une ferme photovoltaïque de douze hectares complètera le dispositif. Une seconde station est prévue en 2027, plus au sud, proche du remisage des véhicules et des voies ferrées afin de pouvoir le cas échéant alimenter également des trains TER.



### Vers des TER hydrogène

La stratégie nationale publiée en septembre prévoit de soutenir le développement de l'hydrogène dans le ferroviaire. Lors d'une visite à l'usine Alstom de Séméac (Tarbes) le 25 du même mois, le ministre délégué aux Transports, Jean-Baptiste Djebbari, a annoncé le déblocage de fonds supplémentaires aux régions qui vont tester le train à hydrogène, "L'État va s'engager encore plus fort, notamment auprès des quatre régions partenaires en investissant quatre millions d'euros en plus par région de manière à accélérer et boucler ce premier tour d'expérimentation sur le train à hydrogène", a-t-il déclaré.

Auvergne-Rhône-Alpes, Bourgogne-Franche-Comté, Grand Est et Occitanie se sont déclarées prêtes à expérimenter le train à hydrogène devraient commander 14 premières rames pour leurs TER. Les premiers prototypes de trains à hydrogène pour le réseau français devraient voir le jour 2023, avec une production en série à l'horizon 2025.

mobilité structurants sont en cours sur tout le territoire. C'est le cas autour de l'aéroport de Toulouse Blagnac avec le projet Hyport : une unité de production et une station hydrogène qui alimentera une flotte de bus et de VUL ; des usages industriels et aéronautiques de l'hydrogène produit sur place sont également prévus.

En Auvergne Rhône Alpes, le projet ZEV (Zero Emission Valley) vise à développer un réseau de 20 stations à l'échelle d'une région tout en favorisant le développement de flottes captives de 1200 véhicules à horizon 2023.

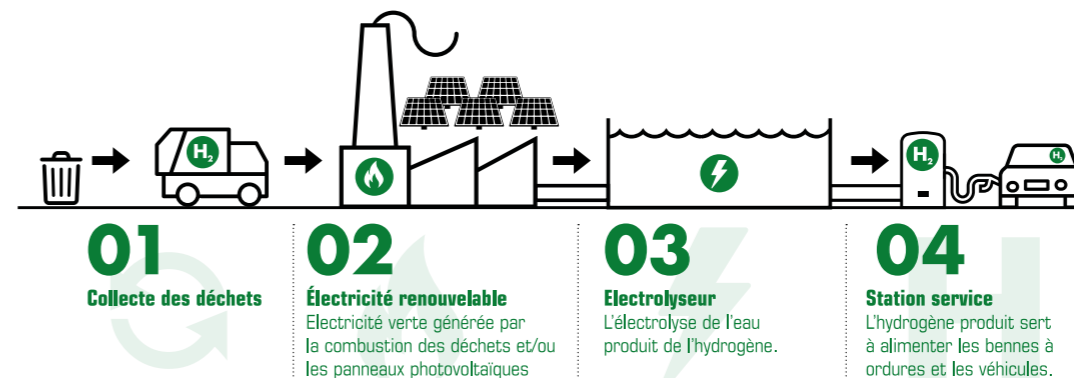
Le projet Corridor H2 obéit au même principe de développement conjoint de l'offre et de la demande, sur le segment du transport routier lourd le long de l'axe Mer du Nord-Méditerranée. La Région Occitanie est très engagée dans ce projet de transport qui concerne également le réseau autoroutier secondaire située sur son territoire. La région vient d'obtenir l'accord de la Banque Européenne d'Investissement pour

le financement de plus d'un tiers d'un investissement évalué à 110M€.

Avec le projet DMSE, Dijon s'est quant à elle engagée dans un projet à l'échelle de l'agglomération. Un mouvement qui gagne de nombreuses villes, avec l'annonce de projets de mobilité à l'hydrogène alimenté par une production locale au Mans, à Tours, à Chateauroux...

### Des systèmes décentralisés de production d'énergie

Produire, stocker et restituer une énergie bas carbone... des solutions hydrogène sont disponibles qui visent l'autonomie énergétique de bâtiments, d'éco-quartiers voire de territoires et réduisent drastiquement l'impact environnemental de leur bilan carbone. C'est le cas d'un projet à Belfort, où le bailleur social Territoire Habitat va construire un immeuble producteur, stockeur et générateur d'énergie. L'été, il consommera l'électricité photovoltaïque produite par les panneaux installés sur son toit. Les surplus non consommés au temps chaud seront stockés puis transformés en hydrogène par



électrolyse quand la bise sera venue. L'hydrogène alimentera alors une pile à combustible qui produira l'électricité nécessaire au chauffage et à l'eau chaude sanitaire.

À Avignon, le projet ECOBIO H<sub>2</sub> consiste à intégrer à un bâtiment à usage professionnel un système complet associant stockage d'électricité hybridé (batterie + chaîne hydrogène), micro datacenter et logiciel auto-apprenant pour un pilotage optimisé des consommations. Ce projet de démonstrateur s'inscrit dans le programme immobilier d'éco-îlot ECOBIO.

Au niveau d'un quartier ou d'un territoire visant des productions à plus grande échelle, l'hydrogène produit peut également être directement injecté dans le réseau pour verdir le gaz naturel comme cela a été déjà réalisé avec le projet pionnier GRHYD (59), ou encore alimenter des solutions de mobilité.

## Des écosystèmes au plus près des spécificités des territoires

Dans leur action de structuration des écosystèmes hydrogène, les régions s'appuient sur les spécificités et le capital de leurs territoires, tant en termes géographiques et climatiques qu'en termes d'histoire économique et industrielle.

### L'atout nature des EnR

Partout en France, l'association entre énergies renouvelables et production d'hydrogène est recherchée et même valorisée au sein de projets intégrés. Les exemples se multiplient, à différentes échelles.

## Le vert et le noir ou la reconversion hydrogène d'une centrale à charbon

À St Avold (57) la centrale électrique à charbon Emile Huchet va définitivement fermer ses portes en 2022. Le projet Emil'HY prévoit la reconversion de la centrale en site de production d'hydrogène renouvelable par électrolyse de l'eau alimenté en électricité verte. L'installation d'une capacité 5 mégawatts (MW) est destinée à devenir l'épicentre d'un système de fourniture d'hydrogène pour l'industrie et la mobilité du Grand Est, avec dans un premier temps l'alimentation de de mobilité hydrogène portés par des collectivités territoriales, à l'image de la Communauté d'agglomération de Saint-Avold Synergie.

En Vendée, la start-up nantaise Lhyfe a pu compter sur la Communauté de Communes de Challans-Gois, la Région Pays de Loire et Bpifrance dans le financement de son premier site industriel de production d'hydrogène renouvelable alimenté par l'électricité issue du parc éolien de Bouin (cf. p29). Plus au Sud, le projet Hygreen Provence porté par l'agglomération Durance, Luberon, Verdon exploite un ensoleillement de 1450 heures annuelles. Il permettra à terme la production de 1300 GWh d'électricité photovoltaïque dont une partie servira à produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau à échelle industrielle. L'hydrogène sera stocké dans les cavités salines naturelles présentes sur le territoire et alimentera une diversité d'usages -mobilité, industries, énergie des bâtiments. Dans l'Est de la France, Strasbourg est le cadre d'une première mondiale dans le domaine des EnR. Haffner et R-GDS se sont associés pour construire une unité



de production d'hydrogène à partir de biomasse – issue du bois et de déchets agricoles forestiers.

A partir de 2021, elle alimentera une flotte d'une trentaine de bus urbains.

#### La reconversion de territoires industriels historiques

Face aux évolutions économiques et à la montée en puissance des enjeux climatiques, des territoires voient en l'hydrogène une possibilité de valoriser certaines de leurs caractéristiques historiques en convertissant certains sites développés sur l'exploitation de charbon ou de gaz.

C'est notamment le cas en Moselle à St Avoild, dont la centrale à charbon va s'arrêter en 2022.

A Lacq, l'ex plus grand site européen de production gazière s'est engagé dans une véritable mutation industrielle avec le développement du projet Chemparc. Depuis près de dix ans il abrite des start-up de la chimie avec à partir de 2021 la production de pilotes industriels validés. Des projets de biogaz et d'hydrogène vert sont également attendus d'ici 2022.

## Développer et promouvoir la filière

### Un engagement plein et entier dans les dispositifs de soutien

Depuis 2016 et l'appel à projets "Territoires Hydrogène" du ministère de l'environnement, les collectivités s'engagent en faveur de l'hydrogène avec le portage de projets de plus en plus ambitieux. Ce premier appel à projets suivi par ceux du Plan National Hydrogène de 2018 ont permis aux projets hydrogène de se déployer sur l'ensemble du territoire. Quels que soient les projets, la nouvelle Stratégie

## Clubs Hydrogène

Impulsés par une coalition d'acteurs publics locaux (ADEME, AREC, Conseils Régionaux, ...), ces clubs participent à l'animation de la filière hydrogène au niveau des territoires. Leur objectif est clair : mettre en lien les acteurs économiques, institutionnels et les collectivités et accélérer le déploiement de projets hydrogène sur le territoire en fédérant les initiatives. Ces structures ambitionnent également de contribuer à l'acculturation des acteurs professionnels et non professionnels autour des enjeux de qualité de vie et de création de valeur de l'hydrogène. Un Club hydrogène a été lancé fin mars en Bourgogne Franche Comté et en juillet en Ile-de-France.

nationale pour l'hydrogène décarboné rend possible leur industrialisation et les collectivités locales restent les orchestrateurs privilégiés de leur déploiement.

### Des structures dédiées au développement de projets démonstrateurs

Au niveau local, diverses structures fédèrent les acteurs territoriaux et industriels. Elles constituent le bras armé des pouvoirs publics dans la mise en œuvre des projets pilotes et demain celle du passage à l'échelle.

**Les agences régionales de développement économique.** Une de leur mission est d'améliorer de la compétitivité des territoires. A ce titre, elles sont des acteurs essentiels de l'animation et de la filière d'avenir que représente l'hydrogène. Elles sont un relai essentiel dans la mise en place d'actions et de structures dédiées, comme les Club Hydrogène par exemple.

**Pôles de compétitivité.** Au-delà de leur rôle d'animation de la recherche, ils participent à l'émergence de projets dans les territoires et labélisent ces projets pour obtenir des financements et de la visibilité. Les solutions hydrogène sont étudiées et développées au sein de nombreux Pôles de compétitivité, tels que Tenerrdis, le Pôle Véhicule du Futur, Capénergies, Pôle énergie ou le pôle S2E2.

## 2018-2020 : le temps des feuilles de route régionales

Les projets hydrogène en cours sur tout le territoire sont le point de départ de plans de développement économique plus ambitieux. Région par région, tour de France des feuilles de route publiées ou en préparation, dans le contexte général d'une stratégie nationale ambitieuse.

### 2018

**Normandie.** Près d'un tiers de la consommation nationale d'hydrogène se fait en Normandie, région industrielle de premier plan. Elle a été la première à publier un plan pour le développement de l'hydrogène en octobre 2018. Doté de 15 M€ sur trois ans, il cible prioritairement des usages industriels tout en soutenant la mobilité hydrogène.

### 2019

**Occitanie.** Dans cette région d'industries de pointe, la présence de la filière hydrogène est historiquement liée aux acteurs de l'aéro-spatiale. Le plan Hydrogène publié en mai vise le développement de la filière à travers l'ensemble des usages et de la chaîne de valeur. Il est doté de 150 M€.

**Hauts de France.** La Région s'est déjà investie dans le développement de l'hydrogène décarboné, identifié comme une des priorités de Rev3, son projet de 3ème révolution industrielle. Publié en novembre 2019, son plan Hydrogène cible les marchés de l'industrie, du bâtiment et de la mobilité.

### 2020

**Bourgogne Franche Comté.** Dans sa feuille de route publiée en février, la région prévoit d'investir **90 M€** d'ici 2030 – en plus des 12 millions déjà investis depuis 2016. Dans un territoire qui abrite notamment un écosystème de R&D spécialisé dans les techniques et solutions de mobilité, le développement de la filière va aussi se structurer sur celui des usages stationnaires de l'hydrogène.

**Pays de la Loire.** La région a adopté en juillet sa feuille de route pour 2020-2030, dotée **d'une enveloppe de 100 M€**. Assortie de 25 mesures qui ciblent les mobilités, elle vise également l'émergence d'une filière régionale capable de développer et concevoir l'avion, le train ou le paquebot à hydrogène du futur.

**Auvergne Rhône-Alpes.** Engagée dans la mobilité hydrogène à grande échelle avec le projet Zero Emission Valley, la région abrite également des projets mixtes d'usages industriels et mobilités. Elle a officiellement voté sa feuille de route hydrogène en juillet, avec une publication attendue très prochainement.

**Nouvelle Aquitaine.** La région a publié sa feuille de route en octobre dans l'objectif de structurer et développer une filière industrielle hydrogène sur l'ensemble de la chaîne de valeur, en ciblant particulièrement les usages de mobilité et de mix énergétique réseaux.

**Bretagne.** Dans sa feuille de route publiée fin octobre, la Région met l'accent sur l'ambition industrielle portée dans le domaine des applications navales et celui de la productions offshore d'hydrogène. La filière se développera autour d'autres spécificités régionales comme les projets smart grids ou les énergies marines renouvelables.

Pour d'autres régions déjà investies et très actives dans des projets démonstrateurs et industriels d'envergure, la feuille de route hydrogène est en cours de finalisation : **Grand Est** qui intègre sur son territoire des projets d'injection d'hydrogène, de reconversion totale du réseau ou de sites industriels, (MosaHYc, Emi'HY...) comme en région **Ile-de-France** (Hype, Last Mile, ...), en **Région Sud** (Jupiter 1000, HyGreen Provence, Total La Mède...) et en **Centre Val de Loire** autour de projets de mobilité (HyBer, HyTour, partenariat de la région avec Alstom, ...). La Collectivité Territoriale de Corse a quant à elle sur son territoire des projets pionniers de stockage et d'intégration des énergies renouvelables via l'hydrogène.



*Nous avons déjà beaucoup de chercheurs autour de l'éolien et un club d'entreprises très fort, notamment dans l'énergie. En nous basant sur ce terrain, nous nous sommes dit que nous devions nous armer pour que notre surface industrielle soit le fer de lance de l'hydrogène*

**Marie-Guite Dufay**  
Présidente de la région Bourgogne  
Franche-Comté

*déclaration dans Techni. Cités le 3 novembre 2020*

### Délégations régionales de France Hydrogène.

Pour accompagner la structuration de la filière, l'association professionnelle de la filière déploie un réseau de 12 délégations en régions. Une proximité qui va permettre de renforcer les liens avec les territoires, faire remonter leurs enjeux et problématiques au niveau national et démultiplier les actions de la filière sur l'ensemble du territoire. Au-delà de l'animation de la filière, les régions sont très impliquées dans son développement économique et prennent part directement au déploiement avec les sociétés de projet. C'est dans ce cadre que se développent des projets d'envergure : HyPort avec la région Occitanie, Himpulsion en AURA ou plus récemment Hynomed dans le Var (cf. p31).

### Une mission de sensibilisation tout public

La structuration de la filière s'accompagne au niveau local d'actions de sensibilisation et de pédagogie à destination d'un public le plus large. Le développement harmonieux des solutions hydrogène passe en effet par une démarche d'acculturation qui comprend une dimension de vulgarisation tout autant que de déconstruction des représentations et idées préconçues. Elle s'adresse aussi bien à des professionnels qu'au grand public. Les premiers pour leur présenter les opportunités de développement de l'hydrogène, que ce soit en termes d'activité ou bien encore comme moyen d'exercer concrètement leur responsabilité sociale et environnementale. Le département de la Manche

vient par exemple de lancer "H2Manche", une charte pour accompagner les acteurs économique dans leur découverte puis dans le déploiement de solutions hydrogène.

Les seconds pour les sensibiliser au potentiel de l'hydrogène dans la transition écologique et à ses bénéfices en termes de qualité de vie, que ce soit dans les usages de mobilité ou d'énergie. A noter que dans les nombreuses agglomérations où ils circulent, les bus à hydrogène sont des vecteurs quotidiens de cette indispensable acculturation, tout comme les vélos, qui commencent à être proposés au grand public, comme à Cherbourg ou St Lô.

### Organiser les formations pour la montée en compétence

Au titre de leurs responsabilités en la matière, les collectivités et plus particulièrement les Régions ont également un rôle à jouer dans la structuration du volet Education de la filière. La nouvelle stratégie nationale mise sur le renforcement des compétences pour soutenir le développement de la filière. L'enjeu est de former les ingénieurs, techniciens et opérateurs qui conçoivent, déploient et exploitent les solutions hydrogène, de former à la spécificité du gaz hydrogène et de ses utilisations, aux composants et aux modalités d'intervention. Préparer cette montée en compétence implique que les Régions participent à des missions destinées à identifier les compétences nécessaires, recenser les formations existantes pour ensuite développer les formations adéquates.

## Les métiers de l'hydrogène

Pour répondre aux besoins induits par l'objectif de montée en compétences, l'Etat accompagnera le développement de campus des métiers et qualifications. Ces structures rassembleront dans la même organisation ou sur le même site, lycées d'enseignement technologique et professionnel (baccalauréats technologiques et professionnels, section de techniciens supérieurs), universités (IUT, licences professionnelles ou spécialisées, masters, formations d'ingénieurs, doctorats) et grandes écoles d'ingénieurs.

Elles bénéficieront d'un appui spécifique à l'ingénierie pédagogique et au développement de nouveaux cursus auprès des établissements d'enseignement scolaire (principalement professionnel) et/ou supérieur et auprès des entreprises du secteur qui pourront ainsi développer ensemble de nouvelles formations initiales ou continues - pour favoriser la conversion à l'hydrogène des professionnels spécialistes d'autres gaz ou d'autres technologies.

*Nous allons nous servir des 24 Heures comme vitrine pour montrer que l'hydrogène vert (sans pétrole) fonctionne et que ce n'est pas dangereux. Dans quatre ans, cela sera un banc d'essais, mais il y aura un championnat à partir de 2025*

**Pierre Fillon**  
Président de l'Automobile Club de l'Ouest

*dans Le Parisien le 1<sup>er</sup> octobre 2020*

## Au Mans, l'hydrogène est dans la course



Le circuit des 24h du Mans est le terrain idéal pour des expérimentations de solutions hydrogène automobiles et pour toucher un public de passionnés. L'Automobile Club de l'Ouest ne s'en prive pas, avec son prototype de compétition Mission H24, développé avec Green GT en partenariat avec Michelin, Plastic Omnium et Total. L'écurie H24 Racing a fait sensation cette année avec son nouveau modèle, plus léger et plus performant. Ce bolide zéro émission a bouclé un tour d'honneur en ouverture des mythiques 24h préfigurant l'arrivée en course des véhicules hydrogène pour l'édition 2024.

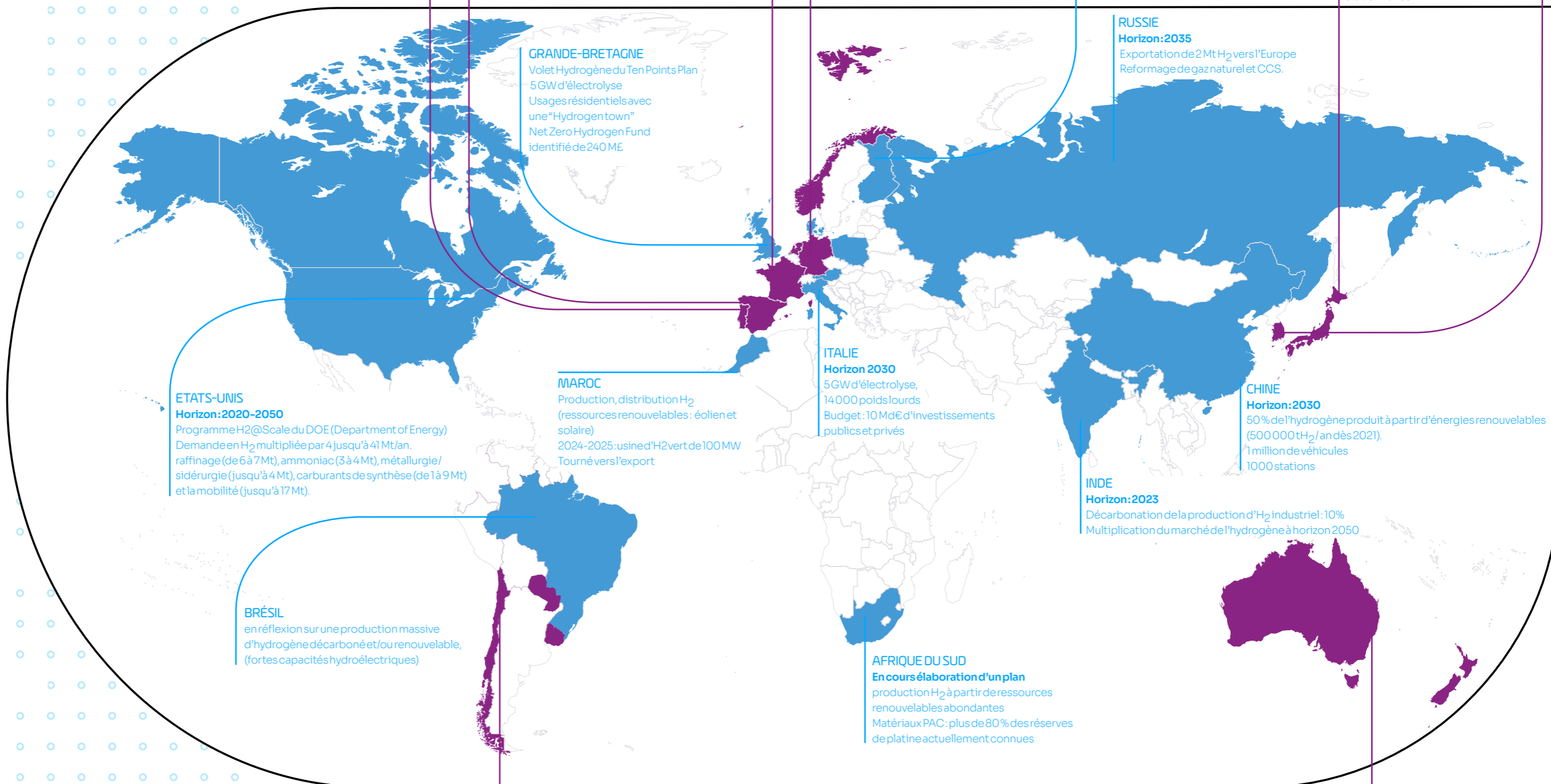
Au Mans, l'hydrogène n'est pas que sur la piste. Il est aussi dans la ville avec un bus et une station hydrogène en service depuis le 16 septembre. La ville a commandé dix bus supplémentaires, et prévoit la mise en circulation d'une flotte de bennes à ordures ménagères.





# L'HYDROGÈNE, UNE DYNAMIQUE MONDIALE

-  Pays avec une stratégie nationale hydrogène
-  Pays avec une stratégie en préparation, un cadre d'actions national et/ou des projets pilotes d'envergure



**PORTUGAL**  
**Horizon 2030**  
 2 GW d'électrolyse  
 5% de la consommation des flottes de bus  
 50 à 100 stations H<sub>2</sub>  
 15% des consommations de gaz

**ESPAGNE**  
**Horizon 2021-2030**  
 4 GW d'électrolyse  
 100 stations,  
 5 000 à 7 500 véhicules légers, 150 à 200 bus  
 Budget : 8,9 Md € d'investissements publics et privés

**FRANCE**  
**Horizon 2030**  
 6,5 GW d'électrolyse  
 300 000 véhicules légers  
 5 000 véhicules lourds  
 1 000 stations  
 Budget : 7,2 Md €

**ALLEMAGNE**  
**Horizon : 2030**  
 Production H<sub>2</sub> vert : 5 GW  
 5 GW supplémentaires d'ici 2035-2040  
 Budget : 7 Md € + 2 Md € destinés à développer la production d'hydrogène dans des pays tiers

**CORÉE DU SUD**  
**Horizon 2040**  
 15 GW de pile à combustible  
 6 millions de véhicules H<sub>2</sub>  
 dont 3,3 millions à l'export  
 1200 stations

**JAPON**  
**Horizon : 2030**  
 800 000 voitures, 1200 bus,  
 100 000 chariots élévateurs,  
 900 stations  
 5,3 millions de piles à combustible stationnaires

**FINLANDE**  
 prod H<sub>2</sub> vert (source : éolien onshore & offshore)  
 150 000 t/an d'H<sub>2</sub> industriel à décarboner,  
 300 ktH<sub>2</sub>/an avec la sidérurgie

**RUSSIE**  
**Horizon : 2035**  
 Exportation de 2 Mt H<sub>2</sub> vers l'Europe  
 Reformage de gaz naturel et CCS.

**GRANDE-BRETAGNE**  
 Volet Hydrogène du Ten Points Plan  
 5 GW d'électrolyse  
 Usages résidentiels avec une "Hydrogen town"  
 Net Zero Hydrogen Fund identifié de 240 M€

**ETATS-UNIS**  
**Horizon : 2020-2050**  
 Programme H<sub>2</sub>@Scale du DOE (Department of Energy)  
 Demande en H<sub>2</sub> multipliée par 4 jusqu'à 41 Mt/an.  
 raffinage (de 6 à 7 Mt), ammoniac (3 à 4 Mt), métallurgie / sidérurgie (jusqu'à 4 Mt), carburants de synthèse (de 1 à 9 Mt) et la mobilité (jusqu'à 17 Mt).

**MAROC**  
 Production, distribution H<sub>2</sub>  
 (ressources renouvelables : éolien et solaire)  
 2024-2025 : usines d'H<sub>2</sub> vert de 100 MW  
 Tourné vers l'export

**ITALIE**  
**Horizon 2030**  
 5 GW d'électrolyse,  
 14 000 poids lourds  
 Budget : 10 Md € d'investissements publics et privés

**CHINE**  
**Horizon : 2030**  
 50% de l'hydrogène produit à partir d'énergies renouvelables (500 000 tH<sub>2</sub>/an dès 2021).  
 1 million de véhicules  
 1000 stations

**INDE**  
**Horizon : 2023**  
 Décarbonation de la production d'H<sub>2</sub> industriel : 10%  
 Multiplication du marché de l'hydrogène à horizon 2050

**BRÉSIL**  
 en réflexion sur une production massive d'hydrogène décarboné et/ou renouvelable, (fortes capacités hydroélectriques)

**AFRIQUE DU SUD**  
**En cours élaboration d'un plan**  
 production H<sub>2</sub> à partir de ressources renouvelables abondantes  
 Matériaux PAC : plus de 80% des réserves de platine actuellement connues

**CHILI**  
**Horizon 2025**  
 5 GW d'électrolyse et 200 000 t/an d'H<sub>2</sub> vert (source principale : photovoltaïque).  
 25 GW en 2030.  
 Prix de l'H<sub>2</sub> vert < à 1,5 \$/kg (ambition export)

**AUSTRALIE**  
 Ressources renouvelables importantes pour production massive H<sub>2</sub>  
 Volet export de la stratégie important  
 Budget : 1,6 Md AUS \$ de nouveaux fonds pour l'ARENA (l'agence australienne des énergies renouvelables)  
 500 M AUS \$ dans les projets H<sub>2</sub> depuis 2019

Liens sources gouvernementales : France ; Portugal ; Japon ; Chili ; Etats-Unis ; Australie

[www.france-hydrogene.org](http://www.france-hydrogene.org)

**Contact:**

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