

Faire de la France  
un leader de l'hydrogène  
renouvelable ou bas-carbone



---

Livre blanc  
pour l'élection présidentielle  
2022

---



# Sommaire

**Nos 10 propositions pour le prochain quinquennat pour faire de la France le leader de l'hydrogène décarboné** ..... 5

**Un élan sans précédent pour l'hydrogène** ..... 6

- La révolution hydrogène est en cours
- La France est bien positionnée dans la course mondiale
- Développer l'hydrogène pour des usages ciblés

**Nos propositions pour faire de la France un leader de l'hydrogène décarboné MAINTENIR LE CAP** ..... 14

1. Réussir la décarbonation de l'économie française grâce au développement de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone.

**SOUTENIR L'OFFRE D'HYDROGENE DECARBONE** ..... 18

2. Assurer la ressource en énergie primaire pour produire de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone
3. Réduire les coûts de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone
4. Garantir la neutralité technologique des voies de production de l'hydrogène dans les appels d'offre et les marchés publics

**STIMULER LA DEMANDE D'HYDROGENE** ..... 32

5. Accélérer le déploiement de l'hydrogène dans les transports
6. Préparer le déploiement d'infrastructures de transport et de stockage d'hydrogène

**POUR UNE POLITIQUE INDUSTRIELLE DE L'HYDROGENE** ..... 42

7. Investir dans la réindustrialisation de la France
8. Adapter les compétences et formations aux besoins de la filière
9. Simplifier les démarches et procédures pour les acteurs de terrain

**RAYONNER A L'INTERNATIONAL** ..... 51

10. Promouvoir des coopérations industrielles européennes et soutenir la filière à l'international

**France Hydrogène, qui sommes-nous ?** ..... 56

**Sources et références** ..... 57

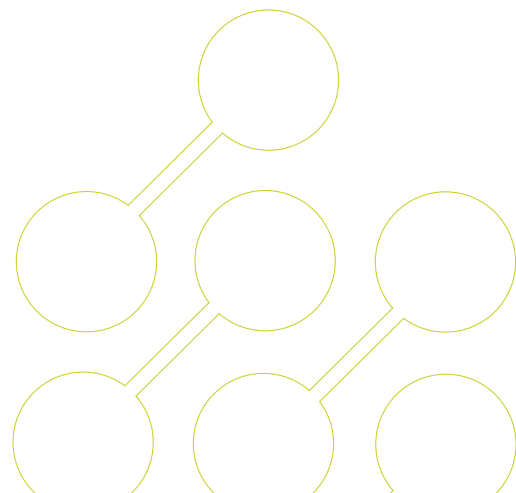


## Le développement de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone permet à la France de répondre à plusieurs grands enjeux majeurs pour son avenir :

- **des enjeux environnementaux** : l'hydrogène est pourvoyeur de nombreuses solutions pour décarboner l'industrie et les transports ;
- **des enjeux économiques** : l'hydrogène offre l'opportunité de créer une filière et un écosystème industriels créateurs d'emplois ;
- **des enjeux de souveraineté énergétique** pour réduire notre dépendance vis-à-vis des importations d'hydrocarbures ;
- **des enjeux d'indépendance technologique** pour valoriser les atouts dont dispose la France dans la compétition mondiale.



Pour le prochain quinquennat, France Hydrogène réunit 10 propositions pour faire de la décennie en cours celle du développement d'une filière industrielle française compétitive et décarbonée.





# Pour le prochain quinquennat, nos 10 propositions pour faire de la France un leader de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone

- 1 Réussir la décarbonation de l'économie française grâce au **développement de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone**
- 2 Pérenniser **un socle de production électrique bas-carbone** afin de décarboner massivement la production d'hydrogène par électrolyse, et accélérer le déploiement de **nouvelles installations photovoltaïques, éoliennes sur terre et en mer, hydrauliques, et marines** pour produire de l'hydrogène renouvelable
- 3 Maitriser les **prix de l'électricité** pour une alimentation compétitive des électrolyseurs, via les coûts d'accès au réseau et des contrats d'achat d'électricité décarbonée de long terme
- 4 Garantir **la neutralité technologique** des voies de production de l'hydrogène dans les appels d'offre et les marchés publics
- 5 Accélérer la transition des transports grâce à des aides ciblées et adaptées aux **véhicules et stations à hydrogène**
- 6 Préparer le déploiement d'**infrastructures de transport et de stockage d'hydrogène** sur le territoire
- 7 Favoriser une **filière de fabrication française** et intensifier les efforts de R&D pour réindustrialiser l'économie et générer des relais d'emplois pérennes
- 8 Adapter les **compétences et formations** aux besoins de la filière et à la transition écologique
- 9 Simplifier **les démarches et les procédures** pour les acteurs de terrain
- 10 Promouvoir des **coopérations industrielles européennes** et soutenir la **filière française à l'international**

# Un élan sans précédent pour l'hydrogène

Une dynamique sans précédent de développement de l'hydrogène est engagée. Dans un contexte de lutte contre le changement climatique et de relance économique post pandémie, la France s'est positionnée dans le peloton de tête des pays les plus avancés en Europe et dans le monde avec le lancement en 2020 d'une Stratégie d'accélération pour l'hydrogène décarboné, complétée par le plan d'investissement France 2030.

## La révolution hydrogène est en cours

Partout dans le monde, l'hydrogène est en train de devenir un vecteur énergétique stratégique pour réussir la transition écologique, en raison de l'alignement de quatre facteurs clefs.



## 1 Le défi climatique

Après l'Accord de Paris de 2015, et à la suite des nouveaux constats alarmants du GIEC, **la lutte contre le changement climatique doit devenir la priorité absolue** pour tenir une trajectoire d'augmentation des températures en deçà de 2 degrés d'ici la fin du siècle. La France poursuit en ce sens poursuit un objectif de neutralité climatique à horizon 2050 et devra baisser ses émissions de gaz à effet de serre de 55 % d'ici 2030 par rapport à 1990. **Le cap est clair, et le rythme à tenir exigeant : de - 3 à - 3,3 % d'émissions chaque année pour y parvenir<sup>1</sup>.** Cet effort important nécessite des politiques climatiques ambitieuses

et cohérentes alliant un triptyque efficacité énergétique, sobriété écologique et innovation technologique. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) estime que près de la moitié des baisses d'émissions nécessaires devront provenir de technologies qui ne sont actuellement qu'au stade de la démonstration ou du prototype<sup>2</sup>. Parmi elles, **l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone est identifié par l'AIE comme un levier pertinent de décarbonation de l'industrie (raffineries, engrais, chimie, sidérurgie) et des mobilités lourdes (routière, ferroviaire, maritime, aérienne).**

## 2 Le défi énergétique

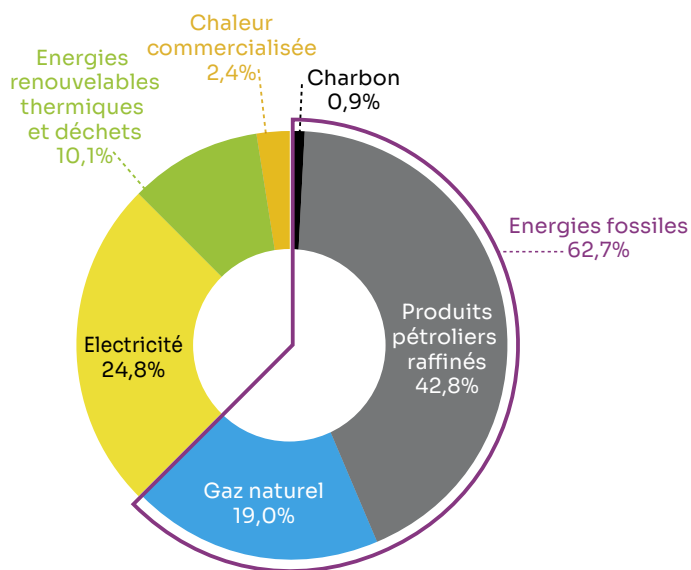
**Aucune solution ne doit être écartée sur la voie de la neutralité carbone. Elle sera atteinte grâce à un mix énergétique diversifié.** Les énergies renouvelables, dont l'hydroélectricité, mais également l'énergie nucléaire, doivent être mises à contribution pour se substituer aux énergies fossiles qui représentent encore 63 % de la consommation finale d'énergie en 2020. **L'impératif est notre sortie du charbon, du pétrole puis du gaz naturel.** Pour réduire notre dépendance, l'électrification directe doit être encouragée partout où

elle est pertinente, mais l'électricité ne représentera en 2050 que 50 à 60 % de la consommation finale d'énergie.

**D'autres moyens décarbonés seront donc nécessaires, tels que les gaz et l'hydrogène renouvelables ou bas-carbone.** 880 000 tonnes d'hydrogène fossile consommées chaque année en France pour le raffinage, la production d'engrais, et la chimie, peuvent aujourd'hui être décarbonées grâce à de nouvelles technologies de production. De plus, de nouveaux usages de l'hydrogène dans la sidérurgie la cimenterie et la

mobilité lourde, des secteurs difficiles à décarboner où l'électrification sera peu opérante, sont à encourager. **L'hydrogène décarboné pourrait représenter 13 à 14 % de la consommation finale d'énergie en 2050, voire jusqu'à 20 à 22 % dans les scénarios les plus ambitieux<sup>3</sup>. L'hydrogène seul ne fera pas la transition énergétique, mais la transition énergétique ne peut réussir sans l'hydrogène.**

### Répartition de la consommation finale d'énergie en France - Total : 152,2 Mtep en 2020



Champ : France entière (y compris DROM) - Source : SDES, bilan énergétique de la France

## 3 Le défi technologique

**Les technologies de l'hydrogène ont connu ces dernières années de formidables avancées, en termes de rendements et de réductions des matières premières utilisées.** Les coûts des piles à combustible ont baissé de 70 % depuis 2008. L'utilisation de l'hydrogène devient envisageable pour de nouveaux usages comme le transport maritime ou le transport aérien. Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) est aujourd'hui l'un des premiers pourvoyeurs de brevets

dans le domaine. La France dispose déjà de nombreux champions industriels positionnés sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène, depuis sa production, son transport, son stockage, sa distribution et ses usages dans l'industrie ou le transport, qui en font un candidat sérieux dans une course internationale au leadership déjà engagée. **Les électrolyseurs ou les piles à combustible sont aujourd'hui techniquement matures et prêts au déploiement.**

## 4 Le défi économique

**Avec la réduction significative des coûts de production de l'électricité renouvelable, la compétitivité de l'hydrogène renouvelable avec les énergies fossiles peut désormais être plus que jamais envisagée, et atteignable à horizon 2030.** Dans le monde, les prix de l'électricité solaire ont en moyenne été divisés par 10 entre 2009 et 2019, et ont baissé de 70 % pour l'électricité éolienne<sup>5</sup>. **Mais les technologies de l'hydrogène**

**sont encore onéreuses.** Comme pour les panneaux photovoltaïques ou les éoliennes, seul un passage à l'échelle de ces équipements par un investissement massif des industriels, allié à une aide des pouvoirs publics, permettra de générer les économies d'échelle suffisantes pour entraîner une baisse massive des coûts production. La France a besoin d'investissements significatifs pour développer une offre industrielle de l'hydrogène.



# La France est bien positionnée dans la course mondiale

**La France s'est engagée dans des dynamiques fortes, désormais ancrées dans la durée.**



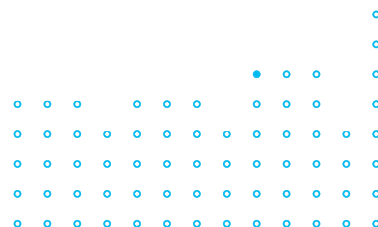
## Une dynamique industrielle

Avec plus de 360 membres, France Hydrogène regroupe **l'équipe de France de l'hydrogène**, dont des grands groupes de l'industrie, de l'énergie et des transports, un réseau dense de PME et ETI ainsi que les principaux acteurs de la recherche. Ces dernières années, les investissements de ces industriels sur notre territoire se sont multipliés. Ils se traduisent par des projets d'implantation et le lancement **de nouvelles usines ou chaînes de production pour la fabrication d'équipements et composants clefs des technologies de l'hydrogène**. Les annonces d'investissements se multiplient partout sur les territoires comme à Belfort, Béziers et Aspach-Michelbach en Alsace (électrolyseurs), à Grenoble et près de Chambéry (stations à hydrogène), à Aix-en-Provence, Bordeaux et près de Lyon (piles à combustible), à Dole et à Bavans en Bourgogne-Franche-Comté (réservoirs), ou à encore Albi, Tarbes, Valenciennes ou en région parisienne (véhicules à hydrogène).



## Une dynamique territoriale

Des projets liés à l'hydrogène se multiplient sur le terrain grâce à l'engagement des collectivités territoriales. **Près de 240 projets hydrogène sont en cours de déploiement ou déjà en service** sur l'ensemble du territoire, à l'image des bus à hydrogène en circulation dans les agglomérations d'Auxerre, La Roche-sur-Yon, Le Mans, Lens, Pau, ou Versailles. Des électrolyseurs sont en cours de déploiement dans la bioraffinerie de La Mède en région Sud, dans le complexe industrialo-portuaire de Port-Jérôme en Normandie, ou auprès des parcs éoliens onshore de la Vendée. **Douze régions métropolitaines se sont dotées de feuilles de route régionales** pour l'hydrogène et investissent des enveloppes de plusieurs dizaines de millions d'euros pour coordonner et structurer des écosystèmes locaux d'hydrogène dans les territoires. En Corse comme dans les Outremer, des projets sont en cours de développement pour utiliser l'hydrogène comme solution de stockage de l'énergie dans des zones non-interconnectées au réseau national.





## Une dynamique internationale

La France s'est inscrite en pionnière dans un environnement européen désormais largement engagé sur la voie de l'hydrogène. En juillet 2020, l'Union européenne a adopté sa propre **Stratégie hydrogène pour une Europe climatiquement neutre**, et a fixé des objectifs de 6 GW de capacités d'électrolyse et 1 million de tonnes d'hydrogène décarboné en 2024, puis de 2 x 40 GW d'électrolyse et de 10 millions de tonnes pour 2030. En Europe, **l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Danemark, l'Espagne, l'Italie, les Pays-Bas, la Pologne, Portugal, le Royaume-Uni** ont tous développé des stratégies hydrogène nationales et avancent conjointement pour des coopérations industrielles. A l'échelle mondiale, la course au leadership est déjà lancée et ce sont **près de 40 pays** qui ont aujourd'hui adopté des stratégies hydrogène et engagé de larges investissements, à l'instar **de l'Arabie saoudite, de l'Australie, du Canada, du Chili, de la Chine, des Emirats Arabes Unis, des Etats-Unis, du Japon, du Maroc, ou de la Russie.**



## Une dynamique politique

Dotée d'un soutien financier public de plus de **9 milliards d'euros sur 10 ans**, la Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné vise à déployer **6,5 GW de capacités d'électrolyse à horizon 2030<sup>6</sup>**. Les axes privilégiés visent à :

- **Décarboner l'industrie** en faisant émerger une filière française compétitive de l'électrolyse.
- **Développer une mobilité** professionnelle, lourde ou intensive, à l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone.
- **Soutenir la recherche**, l'innovation et le développement des compétences afin de favoriser les usages de demain.

Ces orientations ont été réaffirmées à travers le nouveau **plan d'investissement France 2030**, qui vise explicitement à faire de la France le leader de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone et à installer au moins deux gigafactories d'ici 2030, Piloté par le ministre de l'Economie et des Finances et le ministre de la Transition écologique, un **Conseil national de l'hydrogène** assure la bonne mise en œuvre de la Stratégie en concertation avec les filières industrielles.

# Développer l'hydrogène pour des usages ciblés

Le développement de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone répond à des besoins ciblés et dont les usages doivent être priorisés en fonction de l'intérêt environnemental et économique.

## L'industrie

L'hydrogène renvoie aujourd'hui avant tout à une réalité industrielle, celle d'une matière première consommée à hauteur de 880 000 tonnes en France, 10 millions de tonnes en Europe et 90 millions de tonnes dans le monde par **les industries du raffinage, de la production d'engrais, ou de la chimie**<sup>7</sup>. Principalement produit à partir de gaz naturel ou de charbon, cet hydrogène d'origine fossile est responsable d'environ 2 à 3 % des émissions de CO<sub>2</sub>eq à l'échelle mondiale. Décarboner sa production, **c'est décarboner des processus industriels pour lesquels peu d'alternatives existent aujourd'hui** et où l'électrification n'est que peu opérante. Il en est de même pour **l'industrie sidérurgique ou la cimenterie**, où de nouveaux procédés industriels à partir d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone pourraient constituer une alternative viable, à l'image de la réduction du minerai de fer grâce à l'hydrogène en lieu et place du charbon, pour fabriquer de l'acier.

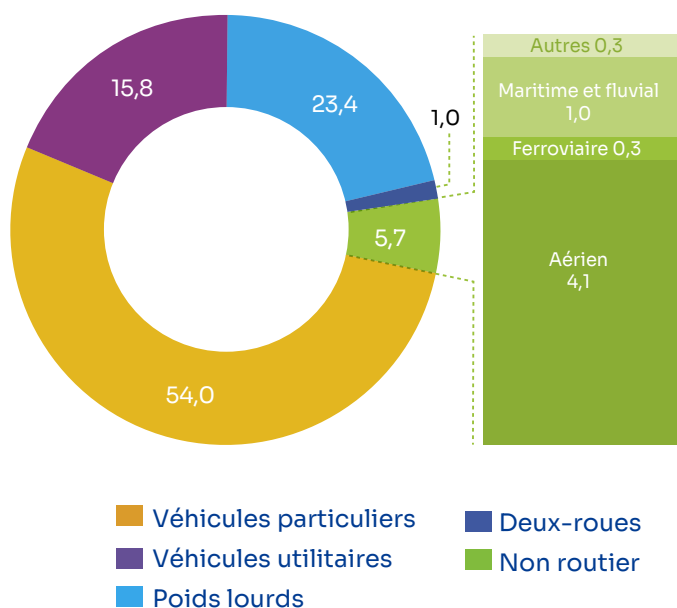
## Les transports

Sans émission ni de CO<sub>2</sub> ni de polluants atmosphériques à l'usage, les véhicules à hydrogène sont des solutions électriques alimentées à l'hydrogène décarboné. Ces véhicules sont particulièrement **adaptés aux mobilités lourdes et professionnelles** en ce qu'ils présentent **une forte autonomie** (jusqu'à plus de 600 km pour un véhicule routier en un seul plein), **un temps de recharge réduit** (de l'ordre de 5 minutes) et **un encombrement moindre** (donc de meilleurs volumes et charges utiles). Classés comme des **véhicules à très faibles émissions**, les véhicules à hydrogène représentent des solutions idéales pour accompagner la transition énergétique du transport de voyageurs et de marchandises, à l'heure où les zones à faibles émissions vont s'installer dans la plupart des agglomérations françaises. Comparé à un véhicule thermique, une berline ou un véhicule utilitaire à hydrogène **réduit de 69 à 78 % les émissions de GES sur l'ensemble du cycle de vie** en fonction



de l'origine de l'hydrogène décarboné, soit une performance comparable à un véhicule à batterie (- 80 %)<sup>8</sup>. Par ailleurs, les technologies de l'hydrogène trouvent également des applications pertinentes dans la mobilité ferroviaire, à des coûts maîtrisés pour les lignes non-électrifiées de voyageurs ou de fret, mais aussi dans le transport maritime et fluvial et le transport aérien, soit directement avec une pile à combustible ou une turbine, soit comme carburant de synthèse.

### Répartition des émissions de GES des transports en France en 2019 - En %



*Note : Les émissions des transports internationaux aériens et maritimes sont exclues de cette répartition. Elles représentent respectivement 13,6% et 4,8% du total considéré ici.  
Source : AEE, 2020*

## L'énergie

Vecteur énergétique, l'hydrogène peut jouer le rôle de pont entre les secteurs du gaz et de l'électricité :

- **Dans le secteur du gaz**, l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone peut être produit par différents procédés et être injecté dans le réseau en mélange au gaz naturel (jusqu'à 6 % en volume en France) pour contribuer à décarboner les usages actuels du gaz. Mais aussi être utilisé directement en combustion dans des centrales à gaz pour décarboner la production d'électricité, ou pour des applications plus directes dans le chauffage industriel ou de quartiers, voire même de bâtiments résidentiels et tertiaires.

- L'hydrogène peut servir de **moyen de stockage de l'électricité**, présentant l'avantage d'être une solution de stockage massif et de longue durée. L'hydrogène peut être produit par électricité puis stocké sous forme gazeuse ou forme liquide avant de contribuer à produire de l'électricité grâce à une pile à combustible ou une turbine. L'hydrogène peut ainsi être utilisé pour faciliter le déploiement des énergies renouvelables en améliorant la stabilité des réseaux énergétiques. Si RTE n'identifie pas de besoin de stockage d'électricité avant 2035 en France métropolitaine, cette application est d'ores-et-déjà pertinente pour les zones non-interconnectées dans les Outre-mer, ou pour des applications stationnaires en substitution de groupes électrogènes au diesel (événementiel, sites isolés, centres de données).

Nos propositions pour faire de la France un leader de l'hydrogène décarboné

## MAINTENIR LE CAP

# 1. Réussir la décarbonation de l'économie française grâce au développement de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone

## Piloter le développement de l'hydrogène décarboné à horizon 2030

### 2030 - OBJECTIFS de la Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France

**6,5 GW\*** d'électrolyse déployés

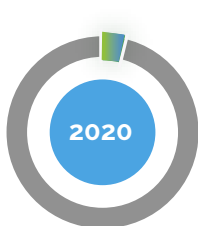
\* 5 MW d'électrolyse déployés en 2020

**6 000 000 t CO<sub>2</sub>\*** évitées par an

\* soit les émissions de la Ville de Paris sur une année

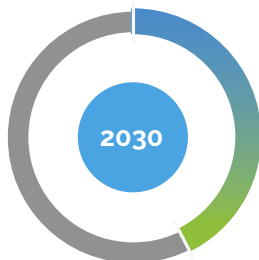
### Développement de la production d'hydrogène pour l'industrie et les nouveaux usages

- H<sub>2</sub> décarboné (5%)
- H<sub>2</sub> carboné\* (95%)



45 000 t H<sub>2</sub>  
sur un total de 880 000 t

- H<sub>2</sub> décarboné (40%)
- H<sub>2</sub> carboné\* (60%)



680 000 t H<sub>2</sub>  
sur un total de 1 345 000 t

\* hydrogène issu de sources fossiles

La Stratégie nationale hydrogène poursuit le déploiement de 6,5 GW de capacités d'électrolyse et la fourniture de **20 à 40 % d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone dans la consommation d'hydrogène nationale à horizon 2030**. Ces cibles représentent jusqu'à plus de 600 000 tonnes d'hydrogène décarboné à produire chaque année, contribuant à **réduire de 6 millions de tonnes les émissions de CO<sub>2</sub> de la France par an** dans deux secteurs privilégiés : l'industrie et la mobilité.

Notre étude **Trajectoire pour une grande ambition hydrogène<sup>22</sup>** met en lumière que ces objectifs pour la France sont atteignables en 2030. Ce déploiement, majoritairement pour des usages industriels dans la décennie 2021-2030, permet de créer la colonne vertébrale de la chaîne d'approvisionnement nationale

en hydrogène décarboné et de réduire les coûts pour les consommateurs finaux en vue de la massification des usages en mobilité au-delà de 2030, une fois l'offre de véhicules (routiers, ferroviaires, maritimes et aériens) arrivée pleinement à maturité commerciale. A l'horizon 2040, la mobilité est appelée à devenir le vecteur principal de croissance du marché de l'hydrogène en France.

Selon une trajectoire « Ambition 2030 » évaluée par la filière, 680 000 tonnes/an d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone seront produits à horizon 2030 pour alimenter :

- **Des usages industriels, à hauteur de 475 000 tonnes/an (70%),** pour remplacer l'hydrogène carboné issu de gaz naturel, aujourd'hui utilisé dans l'industrie du raffinage, de la chimie et des engrais (ammoniac). Mais aussi pour alimenter de nouveaux usages dans la sidérurgie, la relocalisation d'une partie de la production de méthanol en France (pour les usages traditionnels mais aussi en tant qu'additif dans le transport) et la mise en place d'une filière de production de carburants de synthèse (e-kérosène).

- **Des usages pour la mobilité, à hauteur de 160 000 tonnes/an (23,5%),** soit l'équivalent de 300 000 véhicules légers (VUL et taxis), 5 000 poids lourds (bus, autocars et camions), 65 bateaux et navires, et 100 trains.

- **Des usages énergétiques, à hauteur de 45 000 tonnes/an (6,5%),** à travers des projets de flexibilité du réseau électrique, de stockage d'énergie, et de ré-électrification, comme il en existe aujourd'hui en Guyane.

## Les ambitions de développement de l'hydrogène peuvent être renforcées

**Avec le Green Deal et le Paquet Fit for 55, l'Union européenne revoit à la hausse ses objectifs climatiques,** et notamment la réduction des émissions de GES de l'UE à - 55 % en 2030 par rapport à 1990. **Pour les atteindre, l'ambition française de développement de l'hydrogène peut et doit être amplifiée.** Notre scénario « Ambition 2030+ » augmente les ambitions de +60 % pour faire de la France le leader de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone. Avec des taux de croissance observés dans les secteurs des énergies renouvelables, le marché adressé en 2030 peut être porté à 1 090 000 tonnes d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone par an, alimentant une demande :

- de 635 000 tonnes/an (58 %) pour l'industrie, en particulier la sidérurgie et la production de carburants de synthèse.

- de 325 000 tonnes/an (30 %) pour la mobilité, avec 450 000 véhicules légers, 10 000 poids lourds, 135 navires et 250 trains.

- et 130 000 tonnes/an (12 %) pour le secteur de l'énergie (réseaux, stockage, ré-électrification).

Le déficit de financement est évalué entre 7 milliards d'euros (Ambition 2030) et 12 milliards d'euros (Ambition 2030+) sur **les 24 milliards d'euros de besoins d'investissement de la filière**<sup>9</sup>. Avec 9 milliards d'euros à horizon 2030, l'Etat

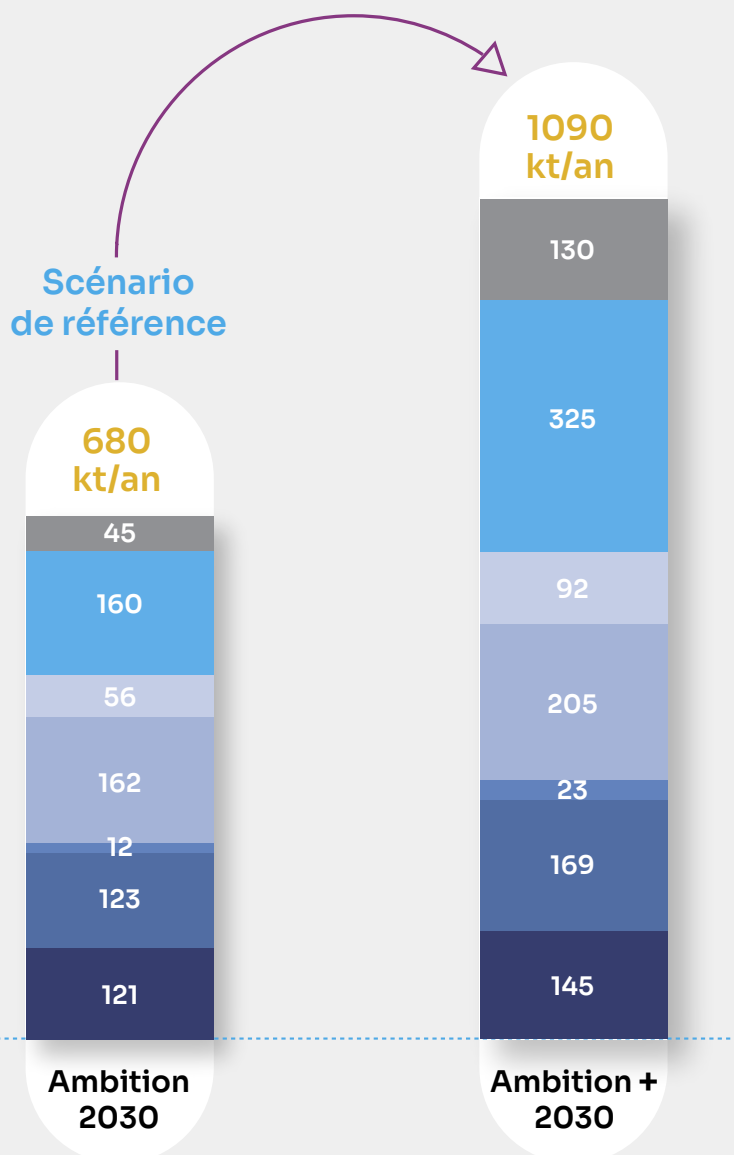
stratégie est en mesure de pallier les défaillances de marché et se donne les moyens de ses ambitions pour l'hydrogène.

Toutefois, **la politique de soutien de l'Etat peut être accentuée durant le prochain quinquennat en portant cette enveloppe jusqu'à 12 milliards d'euros** pour atteindre les ambitions réhaussées du scénario « Ambition 2030 + ».

## Deux scénarios pour 2 ambitions à 2030

**Ambition et Ambition +**

- Energie
- Mobilité
- Carburants de synthèse
- Sidérurgie
- Industrie diffuse
- Chimie
- Raffinage





## Nos propositions

**Amplifier la Stratégie nationale hydrogène en mobilisant 3 milliards d'euros supplémentaires à horizon 2030 pour le développement de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone en France vers :**

- **Le soutien à l'offre d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone, grâce aux atouts du système énergétique français.**
- **Le soutien à la demande d'hydrogène, dans les transports et par la préparation d'un futur réseau d'infrastructures d'hydrogène.**
- **Le développement de l'offre industrielle française et le soutien à la R&D, dans les électrolyseurs, piles à combustible, réservoirs, véhicules, et stations de recharge.**
- **L'adaptation des formations et des compétences face aux besoins de la filière hydrogène.**

H<sub>2</sub>

## SOUTENIR L'OFFRE D'HYDROGENE DECARBONÉ

# 2. Assurer la ressource en énergie primaire pour produire de l'hydrogène renouvelable ou bas carbone

Le prochain Gouvernement aura la charge de présenter devant le Parlement, **pour 2023, une loi de programmation énergie-climat** déterminant les grands objectifs et les priorités d'action de la politique énergétique nationale. Cet exercice majeur de la politique énergétique française sera l'occasion **d'orienter les grands objectifs de développement de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone pour les prochaines années**. Autour d'un triptyque « nucléaire, hydrogène et énergies renouvelables », **les ressources en électricité dont la France aura besoin** pour assurer sa production d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone doivent être stratégiquement pilotées.

### Pérenniser un socle de production électrique bas-carbone pour produire massivement de l'hydrogène

Le système électrique français a aujourd'hui la capacité d'absorber une production d'hydrogène par électrolyse. **Grâce à un mix diversifié fournissant une électricité abondante, bon marché et bas-carbone, notre système énergétique a la capacité de répondre aux besoins de**

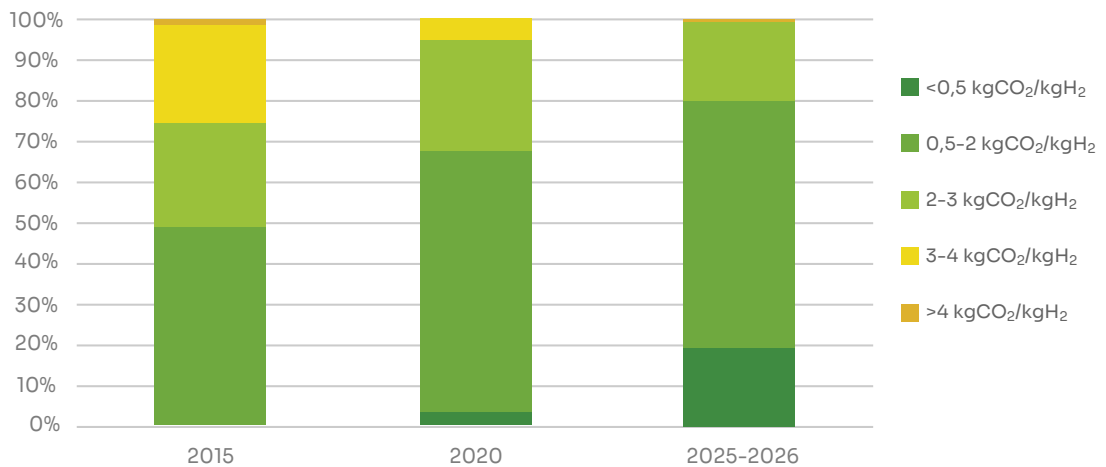
**consommations électriques** nécessaires pour satisfaire les objectifs nationaux de plus de 600 000 tonnes/an d'hydrogène décarboné en 2030. RTE évalue à environ **30 TWh la consommation d'électricité renouvelable ou bas-carbone nécessaire pour l'alimentation des électrolyseurs à horizon 2030**, soit moins de 5 % de la production totale à cet horizon<sup>10</sup>.

Grâce à sa combinaison d'énergies renouvelables dont l'hydraulique, et d'énergie nucléaire, le réseau électrique français est aujourd'hui à 90 % décarboné

(avec en moyenne 54 gCO<sub>2</sub>/kWh). Cet atout permet de fournir tout au long de l'année une électricité de réseau abondante, sécurisée et indépendante d'importations d'hydrocarbures, pour **produire de l'hydrogène bas-carbone satisfaisant aux exigences de la taxonomie de l'Union européenne sur les activités durables** (avec un seuil requis inférieur à 3 tCO<sub>2</sub>eq/tH<sub>2</sub>).

Avec notre scénario Ambition 2030+, les consommations requises sont portées jusqu'à 60 TWh/an. **La production nationale d'électricité prévue dans le bilan prévisionnel de RTE reste suffisante pour accueillir cette consommation pour l'électrolyse.** L'équilibre en puissance de pointe du système électrique restera assuré, puisque le fonctionnement d'un électrolyseur peut s'effacer durant les heures les plus chargées.

### Distribution du contenu carbone de l'hydrogène produit par électrolyse à partir du réseau électrique Français



Source : RTE, Futurs énergétiques 2050

(hypothèse de rendement des électrolyseurs : 70%)

## Accélérer le rythme de déploiement des EnR pour produire de l'hydrogène renouvelable

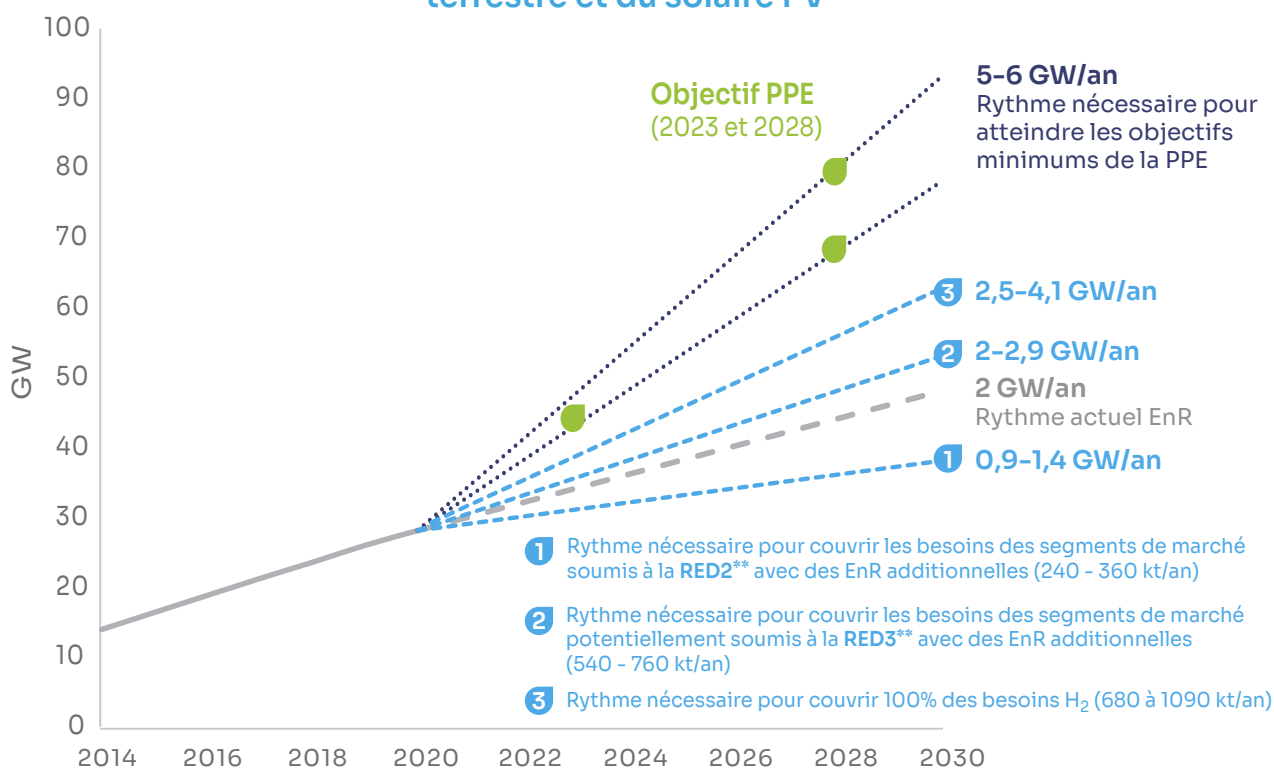
La législation sur l'hydrogène proposée par la Commission européenne dans le Paquet « Fit for 55 » met aujourd'hui l'accent sur le développement de l'hydrogène

renouvelable. L'Union européenne propose la création à horizon 2030 d'un **quota de 50 % d'hydrogène renouvelable dans la consommation totale d'hydrogène de l'industrie** (hors raffinage) au niveau de chaque Etat membre, ainsi qu'une **cible de 2,6 % d'hydrogène et de carburants de synthèse renouvelables dans les transports de l'UE.**

Appliqué en France, le quota d'hydrogène renouvelable dans l'industrie (hors raffinage) représente une consommation située entre 175 000 et 350 000 tonnes en 2030. Une cible de 2,6 % d'hydrogène renouvelable dans la consommation nationale des transports (environ 35 Mtep) représenterait, quant à elle, environ 320 000 tonnes/an d'hydrogène renouvelable. Pour produire les volumes requis, **le rythme actuel de déploiement**

**des énergies renouvelables devra être accéléré. Environ 2 à 2,9 GW/an d'EnR additionnelles** seraient ainsi nécessaires en France pour couvrir ces besoins en hydrogène renouvelable d'ici 2030<sup>11</sup>. A cette fin, toutes les énergies renouvelables devront être mobilisées et déployées sur le territoire : centrales photovoltaïques au sol, éoliennes terrestres et en mer, barrages hydroélectriques et, à terme, nouvelles énergies marines.

### Rythme de déploiement national de l'éolien terrestre et du solaire PV\*



\*Considérant un facteur de charge moyen de l'éolien terrestre et du solaire PV à 2050 h/an et 1 200 h/an respectivement. L'éolien en mer dont l'objectif PPE est de 6GW ins-tallés à 2030 n'a pas été considéré dans le raisonnement car peu impactant au vu des ordres de grandeur en jeu.

\*\*RED : directive européenne sur les énergies renouvelables

Source : Bilan Prévisionnel RTE 2021 2030,

Panorama de l'électri-cité renouvelable 2020 et adaptation par Hincio





## Nos propositions

- **Préserver une approche de neutralité technologique quant aux différentes formes de production d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone à soutenir, pour atteindre rapidement les coûts de production les plus bas et minimiser le coût du soutien public.**
- **Pérenniser un socle de production d'électricité bas-carbone pour produire massivement de l'hydrogène bas-carbone et répondre à nos besoins domestiques en hydrogène.**
- **Accélérer le déploiement des énergies renouvelables afin d'accompagner les nouveaux besoins en hydrogène renouvelable résultant du Paquet européen « Fit for 55 ».**

H2

### 3. Réduire les coûts de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone

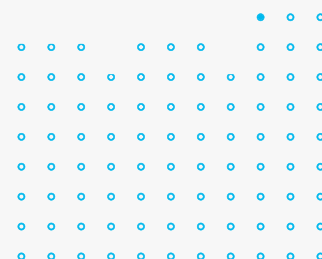
Le développement de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone en France ne sera pérenne qu'à condition qu'il devienne à terme compétitif. **La question du coût de l'électricité constitue le principal défi à relever** pour atteindre une parité vis-à-vis des énergies fossiles auxquelles l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone doit se substituer (hydrogène fossile, diesel, gaz naturel principalement).

#### Diviser par trois à quatre les coûts de production de l'hydrogène par électrolyse

Le **coût de production de l'hydrogène produit par électrolyse** est déterminé par trois composantes :

- **Les dépenses d'investissement de l'électrolyseur.** Ces capital expenditures (CAPEX) s'élèvent aujourd'hui à environ 1 000 €/kW pour les électrolyseurs alcalins et 1 500 €/kW pour les électrolyseurs de type PEM. Grâce aux économies d'échelle et à un fonctionnement optimisé, ces coûts pourraient être ramenés dans une fourchette comprise entre 250 et 500 €/kW d'ici 2030.

- **Le facteur de charge.** L'électrolyseur doit disposer d'un taux de charge optimal pour fonctionner le plus possible dans l'année et sécuriser l'approvisionnement en hydrogène des consommateurs finaux. Le mode d'alimentation de l'électrolyseur optimise ses coûts d'investissement et ses coûts opérationnels. Le facteur de charge peut être faible compte tenu de l'intermittence des énergies renouvelables ou au contraire élevé avec un approvisionnement en électricité de base sur le réseau électrique permettant un fonctionnement toute l'année.



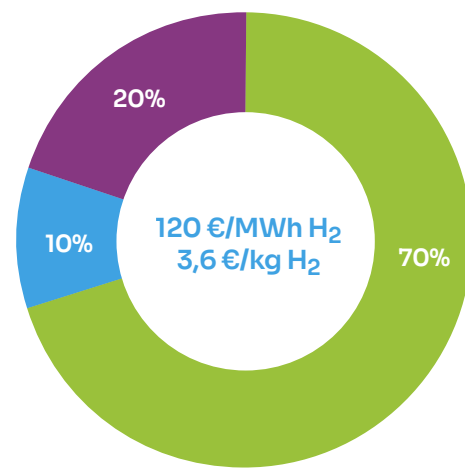
▪ **Le prix de l'électricité.** Le coût de l'électricité représente la part principale des coûts de fonctionnement de l'électrolyseur, autour de 75 % de ses coûts, et dépend de la source d'électricité utilisée. Les coûts de l'électricité se répartissent eux-mêmes entre 1/3 de coûts de fourniture, 1/3 de tarifs d'accès au réseau, et 1/3 de taxes (TICFE, CTA, TVA), les électrolyseurs étant déjà exemptés de taxe intérieure de consommation sur la fourniture d'électricité (TICFE).

Aujourd'hui, le coût de production de l'hydrogène électrolytique s'élève entre 4,5 et 6 €/kg selon la CRE. Ces coûts sont encore très élevés par rapport aux coûts de production de l'hydrogène fossile produit par vaporeformage de gaz naturel, compris entre 1,5 et 2 €/kg.

Pour autant, un prix de la tonne de CO<sub>2</sub> à 100 € à horizon 2030 sur le marché européen du carbone (EU ETS) renchérirait le coût de production de l'hydrogène fossile de 1 €/kg, pour atteindre un coût de 2,5 à 3 €/kg environ. Pour être compétitif à cet horizon, l'hydrogène décarboné doit dès lors diminuer son coût de production jusqu'à une fourchette comprise entre 2,5 à 3 €/kg.

### Coût moyen de revient de l'hydrogène dans les scénarios RTE

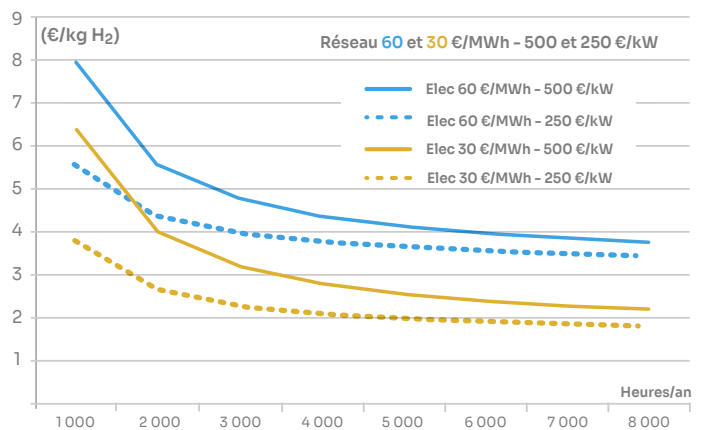
Scénario de référence en 2030 : 35 TWh d'hydrogène (1,1 Mt)	Variante «hydrogène +» en 2030 : 45 TWh d'hydrogène (1,4 Mt)
---	--



- Électrolyse
- Stockage + réseaux H<sub>2</sub>
- Énergies renouvelables + réseaux

Source : RTE, Futurs énergétiques 2050

### Coût de production de l'hydrogène en fonction du prix de l'électricité, du coût de l'électrolyseur et de sa durée annuelle de fonctionnement



Source : IFPEN

## Soutenir la production d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone par électrolyse

Le développement de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone fait aujourd'hui face à une situation de défaillance de marché, justifiant une intervention des Etats. Sur le modèle du soutien aux énergies renouvelables, l'ordonnance du 17 février 2021 relative à l'hydrogène a introduit **un mécanisme de soutien à la production d'hydrogène renouvelable et d'hydrogène bas-carbone produit par électrolyse**, sous la forme d'aides à l'investissement et d'aides au fonctionnement des installations. Les décrets d'application sont aujourd'hui en attente.

**Le lancement prévu à partir de mi-2022 d'appels d'offre pour le soutien à la production d'hydrogène par électrolyse** sera un outil déterminant pour couvrir l'écart de coût entre l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone et l'hydrogène d'origine fossile, grâce à un **complément de rémunération octroyé aux producteurs pour une durée maximale de 20 ans**. Dans le cadre de son Plan national de relance et de résilience (PNRR), la France s'est engagée auprès de l'Union européenne à atteindre une cible de 10 000 tonnes d'hydrogène décarboné soutenues en 2022 et de 100 000 tonnes en 2025

grâce à ce dispositif, des volumes qui devraient être revus à la hausse pour garantir l'émergence d'une filière française de l'électrolyse. Ces appels d'offres devront veiller à soutenir la production d'hydrogène renouvelable et d'hydrogène bas-carbone par électrolyse, sous la forme d'appels d'offres distincts ou de rémunérations différenciées pour tenir compte des différentiels de coûts de production entre les différentes technologies de production.

## Optimiser les schémas d'approvisionnement électrique des électrolyseurs

Pour réduire le coût de l'hydrogène produit, un électrolyseur doit fonctionner un nombre significatif d'heures durant l'année. Le facteur de charge de l'électrolyseur est déterminant pour être en mesure de répondre à la demande. Il est déterminé par la disponibilité de la source d'électricité utilisée pour son approvisionnement.

**Un approvisionnement en électricité du réseau en fonctionnement de base permet d'atteindre des facteurs de charge élevés, jusqu'à 80 % (environ 7000 h/an)**, optimisant au mieux le fonctionnement et les coûts de l'électrolyseur.



Un chantier de rationalisation des règles spécifiques encadrant le raccordement électrique des électrolyseurs devrait être lancé, afin d'optimiser les différents schémas possibles d'approvisionnement en électricité à partir d'énergies renouvelables et du réseau électrique.

## Stabiliser le coût de l'électricité pour l'électrolyse

**Maitriser le coût de l'électricité est déterminant pour la compétitivité de l'hydrogène produit par électrolyse.** Pour être compétitif avec l'hydrogène fossile à horizon post-2030, la CRE estime qu'il faut alimenter les électrolyseurs avec une électricité autour d'une cible de 36€/MWh.

Les scénarios d'évolution du prix de l'électricité à moyen et long terme sont plus que jamais incertains. Pour atténuer cette dynamique, des leviers doivent être nécessairement activés. Le recours à des contrats d'achat d'électricité renouvelable (Power Purchase Agreements) entre des producteurs d'électricité renouvelable et des producteurs d'hydrogène permet d'apporter une visibilité de long terme et de **prémunir les acteurs contre la volatilité du marché de l'électricité.**

Outre les PPA à encourager, **des contrats d'achat similaires devraient être créés avec tous les producteurs d'électricité renouvelable ou bas carbone**, y compris nucléaire, pour éviter l'impact de la hausse du prix de CO<sub>2</sub> sur le prix de l'électricité et maîtriser le risque marché. Pour l'industrie, nécessitant une sécurité de fourniture en toutes circonstances et une compétitivité sur le long terme, des formats contractuels différenciés, à 10 ou 20 ans pourraient être élaborés grâce à une feuille de route précise, arrêtée puis pilotée par les pouvoirs publics, avec une échéance claire et des jalons prédéfinis dans la perspective de la disparition de l'ARENH fin 2025.

Cette évolution pourrait s'inscrire dans **une réforme plus globale et complète pour l'amélioration de l'architecture du marché de l'électricité de gros au sein de l'UE (market design)**, afin de compléter le signal prix de court terme efficacement délivré sur le marché de gros par les bons signaux de long terme, qui reflètent l'évolution structurelle du mix électrique européen vers un taux élevé de décarbonation.



## Nos propositions

- Mettre en place le mécanisme de soutien de l'Etat à la production d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone, sur le modèle de contrats pour la différence couvrant l'écart de prix avec l'hydrogène fossile.
- Poursuivre la réforme du marché du carbone (EU-ETS) pour atteindre 100 €/t à 2030 et améliorer la compétitivité de l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone vis-à-vis de l'hydrogène fossile.
- Lancer un groupe de travail sur les conditions de raccordement électrique des électrolyseurs pour optimiser leur fonctionnement à partir du réseau électrique et d'installations de production d'énergies renouvelables.
- Recourir à des contrats d'achat d'électricité décarbonée de long terme, avec des producteurs d'électricité renouvelable ou bas carbone, y compris nucléaire, pour sécuriser les prix sur le long terme et réduire les risques liés aux évolutions du marché.
- Améliorer l'architecture du marché de l'électricité au niveau de l'UE afin de compléter les signaux de prix de court terme par des signaux de prix de long terme capables de piloter une décarbonation efficace.

## 4. Diversifier les voies de production en respectant la neutralité technologique

Il existe plusieurs voies production de l'hydrogène décarboné qui présentent différents degrés de maturité technologique, et nécessitent des formes adaptées de soutien.

### Un cap stratégique sur l'électrolyse

La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau fournit de l'hydrogène renouvelable ou bas carbone si l'électricité utilisée est renouvelable ou bas carbone. La Stratégie hydrogène française met l'accent sur le développement de capacités d'électrolyse, avec l'objectif de 6,5 GW en 2030. Aujourd'hui **deux technologies, l'électrolyse alcaline et l'électrolyse à membrane échangeuse de protons (PEM)**, avec un rendement entre 60 et 70%<sup>1</sup>, **présentent un degré de maturité élevé** (TRL de 8 et 9) et sont prêtes au déploiement industriel.

Au stade de la démonstration, **l'électrolyse à haute température** dispose d'un degré de maturité encore trop faible pour être industrialisée (TRL de 5 à 6). L'électrolyseur fonctionne à température entre 700 et 850 °C mais dispose d'un

meilleur rendement situé jusqu'à 85 % en cas d'apport externe de chaleur, provenant d'une industrie, d'un réseau de chaleur ou d'une centrale nucléaire, comme de petits réacteurs modulables (*Small Modular Reactors*). Au travers du CEA et de la société Genvia, la France dispose d'une grande avancée dans sa R&D qui doit être activement soutenue dans les prochaines années pour s'assurer de premiers déploiements industriels d'électrolyseurs à horizon 2025-2027.

D'autres voies existent, comme des procédés d'électrocatalyse et de photo-électrocatalyse, et doivent également être soutenues par les pouvoirs publics en ce qu'elles peuvent **offrir des rendements améliorés, réduire rapidement les émissions de GES, diversifier l'approvisionnement en hydrogène décarboné, et constituer des solutions pertinentes pour certains territoires** compte tenu des ressources à leur disposition.



## Facteurs d'émission de la production d'hydrogène

Procédé de production d'hydrogène	Facteur d'émission de CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> /kgH <sub>2</sub> )
Gazéification du charbon	20
Vaporeformage de gaz naturel	11,1
Vaporeformage de biométhane	2,13
Electrolyse à partir du réseau France (2023)	2,77
Electrolyse à partir du réseau Europe (2023)	19,8
Electrolyse de source photovoltaïque	2,58
Electrolyse de source éolienne	0,70
Electrolyse de source hydraulique	0,45
Electrolyse mix 100 % EnR	1,59

Source : ADEME

## Les techniques de captage du carbone dans l'industrie

Les installations existantes de vaporeformage peuvent d'ores-et-déjà obtenir des gains conséquents de réduction des émissions de GES grâce à deux procédés. **L'approvisionnement du vaporeformeur en biométhane, en substitution du gaz naturel**, permet de produire un hydrogène renouvelable. Surtout, **les techniques de captage, séquestration ou utilisation du carbone (CCUS) couplées à une installation de vaporeformage** peuvent réduire considérablement les émissions de CO<sub>2</sub> de l'installation, jusqu'à -56 % avec une seule captation du flux de CO<sub>2</sub> issu du procédé de reformage, et jusqu'à -90 % avec un captage du CO<sub>2</sub> sur le procédé entier de vaporeformage.

La technologie de CCS possède une maturité industrielle, mais fait face à des défis technico-économiques. Son coût – de l'ordre de 200€/t de CO<sub>2</sub> à court terme, pouvant être ramené à 50€/t de CO<sub>2</sub> à long terme – pourrait permettre de produire un hydrogène bas-carbone entre 2 et 2,5€/kg en 2030<sup>12</sup>. L'enjeu réside par ailleurs dans la construction de l'infrastructure de collecte (adaptation des installations industrielles), de transport (gazoduc ou navires) et de stockage du CO<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> doit être stocké dans des aquifères salins profonds ou dans des champs de gaz déplétés comme il en existe en mer du Nord, opérationnels dès 2023. **Le CCS pourrait être une option à court terme et moyen terme pour la production d'hydrogène alimentant les sites industriels en zones portuaires comme à Dunkerque ou au Havre**, pour lesquels le CO<sub>2</sub> capté pourrait être exporté et stocké en mer du Nord sans qu'il soit besoin de procéder à un stockage en France.

## Diversifier les voies de production

La production d'hydrogène à **partir de biomasse** est également une voie mature à disposition. De premières unités de production par thermolyse de biomasse végétale (lisier, effluents, fumier, substrats agricoles, rémanents sylvicoles) se déploient dans le Grand Est avec Haffner Energy et permettent de produire un hydrogène renouvelable à un coût inférieur à 5 €/kg, et avec un rendement de 70 %.

Moins mature, mais opérationnelle en R&D, la pyrolyse par torche à plasma ou micro-ondes permet de produire de l'hydrogène à partir de méthane sans dégager de CO<sub>2</sub>, mais seulement du carbone solide (Carbone Black ou « noir de carbone ») dont la valorisation semble intéressante. La technique est prometteuse en raison de la faible quantité d'énergie requise et de l'utilisation du carbone produit, avec des débouchés industriels potentiels (fabrication de pneus, de colorants pour peintures et plastiques, ou fertilisation des sols en agriculture).



## Nos propositions

- Garantir un principe de neutralité technologique dans les appels à projets et les appels d'offre de soutien à l'hydrogène, pour soutenir toutes les technologies matures de production d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone.
- Soutenir le déploiement des techniques de captage, séquestration ou utilisation du carbone (CCS) sur les grands complexes industrialo-portuaires, où des gains rapides de réduction des émissions de GES peuvent être obtenus à des coûts maîtrisés.
- Investir dans la R&D en faveur de l'électrolyse à haute température et la pyrolyse par torche à plasma micro-ondes du gaz naturel.

## L'arc-en-ciel de l'hydrogène : ses différentes voies de production et sa terminologie

	Couleur	Technologie	Energie primaire ou source d'électricité	Empreinte carbone	Terminologie
Production via biomasse	Hydrogène vert	Thermolyse	Biomasse	Basse ( $< 3 \text{ kgCO}_2\text{eq/kgH}_2$ )	Hydrogène renouvelable
		Vaporeformage	Biométhane	Basse ( $< 3 \text{ kgCO}_2\text{eq/kgH}_2$ )	Hydrogène renouvelable
Production via l'électricité	Hydrogène rose	Electrolyse de l'eau	Solaire, éoliennes, hydroélectricité	Minimale ( $< 2 \text{ kgCO}_2 \text{ eq/kgH}_2$ )	Hydrogène renouvelable
	Hydrogène jaune		Nucléaire	Minimale ( $< 2 \text{ kgCO}_2 \text{ eq/kgH}_2$ )	Hydrogène bas-carbone
	Hydrogène bleu		Réseau électrique (FR)	Basse ( $< 3 \text{ kgCO}_2\text{eq/kgH}_2$ )	Hydrogène bas-carbone
Production via les énergies fossiles	Hydrogène bleu	Vaporeformage Gazéification	Gas naturel, charbon + CCUS	Basse ( $< 3 \text{ kgCO}_2\text{eq/kgH}_2$ )	Hydrogène bas-carbone
	Hydrogène turquoise	Pyrolyse	Gaz naturel	Basse ( $< 3 \text{ kgCO}_2\text{eq/kgH}_2$ ) + noir de carbone (co-produit)	/
	Hydrogène gris	Vaporeformage		Elevée ( $\sim 11 \text{ kgCO}_2 \text{ eq/kgH}_2$ )	Hydrogène carboné
	Hydrogène marron	Gazéification	Lignite	Très élevée ( $> 20 \text{ kgCO}_2 \text{ eq/kgH}_2$ )	Hydrogène carboné
	Hydrogène noir		Charbon bitumineux	Très élevée ( $> 20 \text{ kgCO}_2 \text{ eq/kgH}_2$ )	Hydrogène carboné

Légende : hydrogène vert, bleu, ou gris, les appellations par les couleurs sont souvent utilisées mais devraient être évitées en ce qu'elles entretiennent des confusions et ne recouvrent pas toujours les mêmes dimensions technologiques ou énergétiques. Le code de l'énergie définit aujourd'hui l'hydrogène renouvelable, l'hydrogène bas-carbone, et l'hydrogène carboné. (article L811-1 du code de l'énergie).

## STIMULER LA DEMANDE D'HYDROGENE

# 5. Accélérer le déploiement de l'hydrogène dans les transports

Les constructeurs automobiles commencent aujourd'hui à s'engager pour le déploiement des mobilités à hydrogène, à destination des professionnels. Dans sa dernière Programmation pluriannuelle de l'énergie, **l'Etat s'est donné des objectifs de déploiement** : 100 stations d'hydrogène en 2023, et 400 à 1 000 stations d'ici 2028 ; 200 véhicules lourds (poids lourds, bus, autocars, bennes à ordures ménagères, trains, navires) d'ici 2023, et 2 000 à 5 000 d'ici 2028 ; 2 000 voitures ou véhicules utilitaires légers, et 20 000 à 50 000 d'ici 2028<sup>13</sup>.

### Les leviers pour stimuler le déploiement de véhicules sur les routes

**L'offre de véhicules à destination des professionnels commence à se déployer sur le marché. Les constructeurs, en particulier français, présentent une feuille de route de mobilité bas-carbone intégrant une gamme de véhicules hydrogène.** Les constructeurs français (Renault, Stellantis) vont commercialiser dès 2022 plusieurs modèles de **véhicules utilitaires à hydrogène**. L'offre **poids lourds** est en cours de développement côté constructeurs, avec d'un côté une

approche traditionnelle de transition par le moteur thermique alimenté à l'hydrogène (ICE H2), et de l'autre la technologie pile à combustible permettant un poids lourd 100% zéro émission. L'horizon des annonces des constructeurs pour un déploiement en série de poids lourds se situe au horizon de 2025. A noter, en Suisse, le déploiement annoncé de 1600 camions à hydrogène (camions Hyundai 16t) zéro émission. Plusieurs modèles de **bus à hydrogène** sont déjà commercialisés et intégrés au catalogue de l'UGAP, dont le bus made in France de Safran, et plus d'une vingtaine sont déjà en circulation dans les agglomérations d'Auxerre, La Roche-sur-Yon, Lens, Le Mans, Pau et Versailles.

Des modèles de **bennes à ordures ménagères fonctionnant à l'hydrogène** sont à disposition des collectivités territoriales, à l'instar d'Angers, Dijon, et Le Mans qui ont fait l'acquisition mutualisée de premiers modèles en 2021. Enfin côté autocars, le rétrofit **d'autocars thermiques vers des technologies de piles à combustible** semble une solution applicable à court terme et est soutenu par les régions Normandie, Occitanie et Auvergne-Rhône-Alpes.

En phase d'amorçage du marché, **le principal défi réside dans les coûts des véhicules, encore 3 à 4 fois plus onéreux** que leurs équivalents thermiques tant que les volumes se limitent à quelques centaines d'exemplaires produits.

Un obstacle que **les politiques d'aides ciblées à l'acquisition de véhicules** aident à surmonter, pour permettre le passage à l'échelle et **l'atteinte d'une compétitivité en coûts totaux de possession (TCO) avec les véhicules thermiques envisagée à des horizons 2025-2030** selon les études et les segments. Les aides à l'achat doivent permettre un démarrage rapide du marché sur la période 2022-2025, avec un mécanisme de soutien dégressif visant une fin des aides à l'horizon 2027-2028. Pour la période initiale, un montant d'aides équivalent à celles désormais existantes en Allemagne devrait être instauré.

Les aides allemandes ciblent les VUL, camions, et bus, avec une subvention à hauteur de 80% du surcoût par rapport à un équivalent thermique, ce qui constitue un levier d'amorçage puissant pour stimuler les chaînes de production.

En bénéficiant d'une aide conséquente de l'Etat facilitant le passage à l'échelle industrielle, les objectifs suivants pourraient être atteints dès 2025 : un parc de 40 000 à 50 000 véhicules légers (VUL et taxis), d'au moins 1 000 bus, et de 800 à 1 000 camions.

**Par ailleurs, regroupement de commandes publiques** grâce à la capacité des centrales d'achat publiques permet de lancer des appels d'offres pour des volumes conséquents de véhicules. Ce levier peut aider les collectivités territoriales et établissements publics à mieux remplir les objectifs de verdissement de leurs flottes publiques fixés par la loi. Ces commandes massives permettront d'atteindre des coûts véhicules plus proches de ceux des véhicules thermiques et de s'affranchir d'autant des subventions. Ils donneront également de la visibilité volume aux constructeurs et à leurs fournisseurs de composants.



de flux logistiques de marchandises ou bien les zones de tournées des livraisons urbaines et péri-urbaines à l'échelle de chaque région. **Les zones logistiques, portuaires et aéroportuaires**, où la distribution d'hydrogène peut trouver à alimenter divers types de véhicules routiers, ferroviaires, maritimes et aériens, peuvent également servir de base à l'établissement de hubs hydrogène.

**La localisation des stations le long des corridors autoroutiers du réseau global de transport européen RTE-T** doit également être un axe structurant de déploiement. La future législation européenne devrait à ce titre imposer une station d'hydrogène tous les 150 km le long de ces axes autoroutiers du réseau central et global de RTE-T. A l'instar des bornes de recharge rapide pour véhicules électriques, **une aide temporaire en faveur des investissements et des charges d'exploitation dans les stations d'avitaillement en hydrogène sur les grands axes routiers devrait être créée. Des pressions à 350 et 700 bars devraient être requises afin d'alimenter tous les types de véhicules**, depuis les véhicules lourds (bus, camions, autocars, bennes à ordures ménagères) jusqu'aux véhicules commerciaux (VUL, taxis).

**La répartition des stations doit enfin être articulée à la maille régionale.**

Le projet de *Zero Emission Valley* en région Auvergne-Rhône-Alpes constitue un cas d'école d'un déploiement coordonné de 1 200 véhicules à hydrogène, 20 stations de distribution à partir de 3 sites semi-centralisés de production, offrant les échelles pertinentes pour garantir une viabilité économique aux équipements, et un premier maillage suffisant pour les professionnels se déplaçant à l'échelle du territoire. Ce premier maillage est une étape intermédiaire préparant le passage à un maillage plus dense apte à répondre aux usages des véhicules particuliers.

## Des applications dans le transport ferroviaire, maritime, fluvial et aérien

L'hydrogène peut trouver des applications non seulement pour le transport routier, mais également ferroviaire, maritime, fluvial, aérien, sous forme gazeuse ou liquide, voire pour servir à la production de carburants synthétiques.

Dans le **transport ferroviaire**, les régions Auvergne-Rhône-Alpes, Bourgogne-Franche-Comté, Grand Est, et Occitanie ont fait l'acquisition en 2021, grâce à un co-financement de l'Etat de 47 millions



d'euros, de 14 premières rames à Alstom. Elles seront testées puis mises en circulation à partir de 2024 sur les lignes non-électrifiées. D'autres régions ont manifesté un intérêt pour suivre leur voie, et mériteraient d'être accompagnées par l'Etat en ce sens. En service commercial en Allemagne depuis 2018, le train iLint présenté à Valenciennes en septembre 2021 constitue une réponse pertinente aux besoins de solutions zéro émission pour les lignes de dessertes fines du territoire. L'extension de la propulsion hydrogène dans le domaine des locomotives de fret présente un intérêt majeur en termes de décarbonation notamment dans un contexte de relance par la puissance publique de la part modale du fret ferroviaire, versus le fret routier. Les locomotives de manœuvre présentes dans les gares de triage constituent également un axe intéressant de verdissement en raison notamment de leur présence dans les ZFE.

Dans le **secteur maritime et fluvial**, de premières navettes fluviales de passagers sont en circulation à Nantes et La Rochelle. L'adaptation des technologies au transport maritime et aux plus gros tonnages nécessitera des efforts de R&D pour résoudre les défis de l'embarquement de l'hydrogène dans les navires, sous forme gazeuse ou liquide, et la montée en puissance des systèmes de propulsion.

Considéré également sous forme transformée en ammoniac ou méthanol, l'hydrogène constitue une piste prometteuse pour réduire les émissions du secteur conformément aux engagements de l'OMI. Les ports constituent enfin des hubs idéaux pour l'accueil d'écosystèmes capables d'approvisionnement en hydrogène décarboné des navires, mais aussi des industries et des flottes de véhicules avoisinantes.

Dans le **transport aérien**, Airbus, Safran et ArianeGroup sont investis dans la R&D sur l'hydrogène pour une application à horizon 2035 de technologies nécessaires pour assurer la transition énergétique du secteur. Quatre concepts d'avions à hydrogène pour des vols court et moyen-courrier sont en cours de développement. Dans les aéroports de Paris, à l'aéroport de Toulouse-Blagnac et à l'aéroport de Lyon-Saint Exupéry, l'équipement en stations à hydrogène doit servir à alimenter des flottes de véhicules divers – bus, navettes, tracteurs à bagages ou passerelles d'embarquement – avant un approvisionnement à terme d'avions adaptés. A court et moyen terme, l'hydrogène peut servir à la fabrication de carburants de synthèse (e-kérosène) présentant des réductions significatives des émissions des avions, sans adaptation technologique nécessaire.





# Nos propositions

- Revoir les modalités d'aides à l'achat des véhicules routiers à hydrogène pour couvrir jusqu'à 80 % du différentiel de coût avec les véhicules thermiques.
- Encourager la démarche des commandes groupées de véhicules à hydrogène par les collectivités territoriales et les établissements publics, pour mieux les accompagner dans l'obligation de renouvellement de flottes.
- Créer une aide à l'investissement dans les stations d'hydrogène sur les grands axes routiers.
- Elaborer en concertation avec les Régions un schéma directeur national de déploiement des stations d'hydrogène, afin d'atteindre un objectif d'au moins 1 000 stations publiques d'ici la fin du quinquennat, garantir un maillage cohérent du territoire, et satisfaire les obligations européennes de l'AFIR (une station tous les 150 km).
- Mobiliser de nouveaux co-financements pour accompagner les Régions qui n'ont pas encore passé le pas à acquérir des trains à hydrogène pour les lignes TER non-électrifiées.
- Financer les efforts de R&D pour une application des technologies de l'hydrogène pour les besoins de grandes puissances dans les secteurs du fret ferroviaire, du transport maritime et du transport aérien (piles à combustible, réservoirs, liquéfaction).
- Développer une filière française de production et distribution de carburants de synthèse produits à partir d'hydrogène, pour le transport aérien et le transport maritime.

## 6. Préparer le déploiement d'infrastructures d'hydrogène

Le développement de l'hydrogène en France suivra **une trajectoire de déploiement dans le temps et dans l'espace à partir de sept grands bassins industriels**. Représentant, à l'horizon 2030, 85% de la demande totale d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone, ces bassins géographiques constituent des points d'ancrage d'un déploiement massif où la mutualisation de la production et des usages permettra de réduire les coûts des technologies et équipements. **La coordination puis l'interconnexion des bassins seront clefs dans ce développement.**

### Un déploiement par étapes à partir de bassins d'envergure

**Le déploiement de la filière hydrogène passera par différentes étapes de développement.** Dans un premier stade à horizon 5 ans, l'enjeu sera de favoriser la création de hubs territoriaux d'hydrogène, multi-usages (industrie et mobilités), au cœur des zones industrielles et portuaires et à proximité des grands axes européens de transport lourd. De premières infrastructures d'hydrogène (canalisations, stockages)

seront incluses au sein de ces hubs. Les différentes initiatives locales devront être coordonnées pour optimiser au mieux le développement. Dans un second temps, à horizon 10 ans, des besoins en infrastructures de transport d'hydrogène reliant les hubs industriels entre eux se feront jour pour répondre aux besoins croissants des consommateurs finaux, présentant une demande journalière conséquente.

**La chaîne d'approvisionnement de l'hydrogène aura donc besoin d'être préparée et dimensionnée en amont.** Les écosystèmes territoriaux hydrogène émergeront dans un premier temps autour de **sept bassins** (ou « vallées hydrogène »), principalement autour de grands pôles industriels et logistiques. La forte concentration de la demande au sein des bassins crée une opportunité d'optimiser la chaîne de production et d'approvisionnement en hydrogène en mutualisant les unités de production massive pour générer des économies d'échelle. Ainsi, des moyens de conditionnement et logistiques et des canalisations seront nécessaires pour relier ces productions centralisées ou semi-centralisées aux usages diffus.

**En 2030, 85% de la demande d'hydrogène devrait se situer dans ces sept bassins**, constitués du regroupement géographique des principaux pôles industriels et de mobilité (métropoles, ports, aéroports, centres logistiques) et de leur zone d'influence logistique. Une centralisation des moyens de production d'hydrogène décarboné au niveau de ces bassins permet de réduire les coûts grâce aux effets d'échelle permis par la mutualisation.

**La demande d'hydrogène décarboné hors de ces bassins, principalement liée à la mobilité, devra privilégier une production sur site associée à une station de recharge ou s'adosser à une infrastructure adaptée déjà existante.** Ces projets de mobilité diffuse, en complément des grands bassins, restent déterminants pour préparer la massification de la mobilité hydrogène et assurer une continuité de maillage de stations entre les bassins pour les déplacements longue distance.

## Planifier les infrastructures de transport et de stockage d'hydrogène

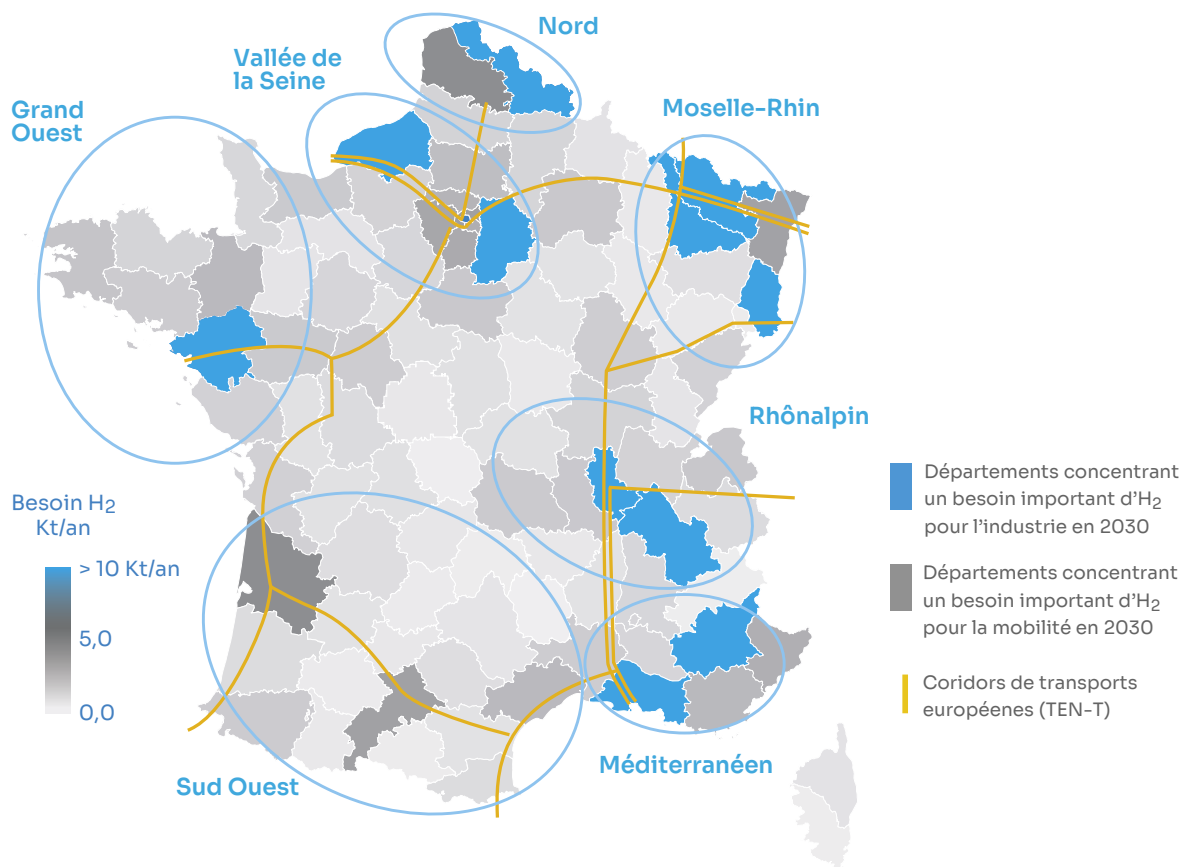
**A l'intérieur de chaque bassin, des canalisations dédiées à l'hydrogène, pour un total de 685 km, associées à près de 20 000 tonnes de capacités de stockage souterrain d'hydrogène**

**(cavités salines, nappes aquifères, champs de gaz déplétés), seront nécessaires pour assurer la sécurité d'approvisionnement** des principaux pôles industriels et énergétiques.

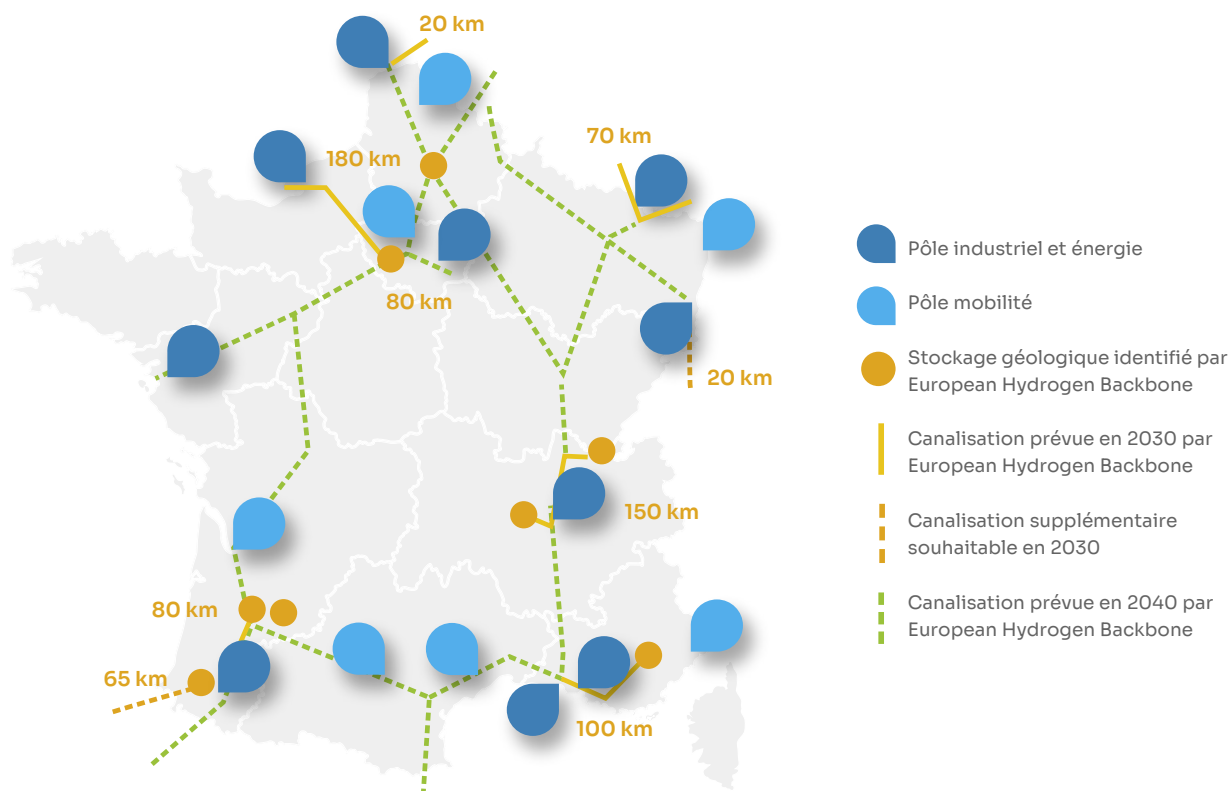
Ce réseau fournira un premier maillage hydrogène en France, qui s'inscrira ultérieurement **dans un réseau européen d'hydrogène plus large** (« *European Hydrogen Backbone*<sup>17</sup> » ) à horizon **2040 reliant la péninsule ibérique et le bassin méditerranéen au nord de l'Europe**. Les deux tiers de ce réseau pourront être obtenus à moindres coûts grâce à **une reconversion des infrastructures gazières existantes**, qui pourraient être libérées du fait de réduction de la consommation de gaz naturel. Le reste nécessitera la réalisation de nouvelles canalisations dédiées. **Le coût de transport de l'hydrogène par canalisation devrait être limité**, de l'ordre de 0,11 €/kg/1000 km (canalisations reconverties) et 0,2 €/kg/1000 km (canalisations neuves).

Concernant **le coût du stockage souterrain sous forme gazeuse, il se situe entre 0,2 et 0,6 €/kg**. Les délais et procédures pour l'octroi des titres miniers et des autorisations d'exploitation gagneraient à être raccourcis et simplifiés, en particulier pour les projets consistant à réutiliser des formations géologiques déjà identifiées et répertoriées.





## Concentration de la demande projetée d'hydrogène dans sept bassins en 2030



## Réseau projeté de canalisation de transport d'H<sub>2</sub> en 2030



# Nos propositions

-  Développer de premiers bassins territoriaux de production et de consommation d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone, à partir des hubs industriels et portuaires d'envergure.
-  Coordonner la planification des réseaux de gaz naturel et des réseaux électriques afin d'assurer la cohérence et l'efficacité des déploiements des infrastructures de transport et de stockage d'hydrogène, et à terme instaurer une planification des réseaux d'hydrogène.
-  Permettre et faciliter les droits et permis pour la reconversion des infrastructures gazières existantes vers des infrastructures de transport et de stockage d'hydrogène.
-  Faciliter l'octroi de titres miniers pour les projets de reconversion de sites de stockages souterrains identifiés pour de l'hydrogène.

H<sub>2</sub>

# POUR UNE POLITIQUE INDUSTRIELLE DE L'HYDROGENE

## 7. Investir dans la réindustrialisation de la France

### La France dans la course industrielle aux technologies de l'hydrogène

Avec des grands groupes et des PME-ETI présents sur l'ensemble de la chaîne de valeur, **la France a toutes les cartes en main pour se positionner en leader des technologies de l'hydrogène à l'échelle mondiale**, en particulier sur des segments stratégiques : la fabrication d'électrolyseurs, la production de piles à combustible et des réservoirs associés pour les véhicules à hydrogène, la production de séries de véhicules tels que les trains, les bus ou les véhicules utilitaires légers, l'implantation de constructeurs de véhicules (camions, bennes à ordures), ou le déploiement à l'échelle d'une infrastructure de stations de recharge. Après la phase des démonstrateurs, l'heure est à l'industrialisation et au passage à l'échelle des technologies.

L'offre industrielle doit être développée, en soutenant à la fois la R&D dans des technologies d'avenir et composants clefs, et le déploiement industriel dans une logique de massification. Il faut **offrir aux acteurs français un marché suffisamment élargi pour également soutenir leurs efforts, notamment, via un**

**soutien dans le cadre de projets d'hydrogène hors UE.** Les erreurs d'hier doivent servir de boussole, le précédent de l'industrie photovoltaïque appelle à une politique volontariste de soutien aux industriels français et européens pour ne pas laisser filer les savoir-faire et les compétences.

Le succès repose aussi sur la sortie des silos et la **coopération entre grands groupes industriels et start-ups innovantes, mais également sur le renforcement du lien entre recherche, innovation et industrie.** Créé en 2021, un **Programme prioritaire d'équipement et de recherche (PEPR) sur les technologies de l'hydrogène**, piloté par le CEA et le CNRS, doit intensifier les efforts de R&D sur des briques technologiques clefs, telles que la production d'hydrogène par l'électrolyse à haute température, le stockage d'hydrogène y compris sous forme liquide, la montée en puissance des piles à combustible pour des applications stationnaires jusqu'aux transports maritimes et aériens, ou encore sur les matériaux.

## Valoriser les équipements et technologies fabriqués en France






Pour ne pas reproduire le précédent de l'industrie photovoltaïque, il nous faut nous **doter d'une politique industrielle qui soit capable de capter la création de valeur sur notre territoire et valoriser la fabrication française** et européenne. La création d'un indice de « contenu local » pour déterminer la part française des équipements et composants permettrait de valoriser nos industries. Il gagnerait à figurer comme une composante des appels d'offres et des marchés publics, afin d'avancer vers une meilleure reconnaissance des produits fabriqués en France, en distinguant ce qui relève de la conception, de la fabrication, et de l'assemblage en France et/ou en Europe.

Compte tenu de l'offre, **certains industriels peuvent cependant avoir recours à un approvisionnement à l'étranger pour un ou plusieurs composant(s) clef(s)** des systèmes à hydrogène (électrolyseur, compresseur, réservoir, pile à combustible, stack, membranes). Dans l'attente d'une diversification de l'offre française, l'enjeu doit être d'adopter **un dispositif équilibré** capable de valoriser la valeur ajoutée française tout en ne décourageant pas les industriels dans leurs projets, dont le déploiement doit pouvoir aussi à terme encourager la création de valeur ajoutée sur le territoire national.

## Renforcer notre autonomie stratégique dans des composants et matières premières clefs

La France maîtrise ou disposera rapidement des **technologies critiques nécessaires à sa souveraineté. Néanmoins des thématiques prioritaires ont été identifiées** par le Conseil national de l'hydrogène et doivent faire l'objet d'approfondissements complémentaires : les membranes échangeuses de proton pour piles à combustible et électrolyseurs, les compresseurs d'air, ou encore certains procédés de décarbonation pour l'industrie sidérurgique et les cimenteries, ainsi que la technologie de liquéfaction de l'hydrogène. Le CNH a ainsi initié des travaux pour identifier des contributeurs industriels, former des consortiums et développer ces technologies et équipements afin de renforcer la chaîne de valeur française. **Un exercice similaire doit être mené concernant les matériaux critiques** (nickel des électrolyseurs alcalins, iridium des électrolyseurs PEM, platine des piles à combustible, cuivre pour les connections électriques), pour sécuriser l'approvisionnement et améliorer leur recyclabilité<sup>18</sup>.

# Nos propositions

-  Poursuivre les efforts de R&D dans des innovations et matériaux prometteurs (électrolyseurs, piles à combustible, réservoirs, stations), en renforçant le Programme prioritaire d'équipement et de recherche (PEPR) sur l'hydrogène et les liens entre recherche, innovation et industrie.
-  Créer les modalités d'accompagnement des projets d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone de groupes français hors UE.
-  Créer un indice de « contenu local » des équipements et technologies de l'hydrogène pour valoriser dans les appels d'offres et marchés publics le « made in France ».
-  Identifier le marché des sous-composants critiques nécessitant un effort de sécurisation pour assurer une meilleure autonomie stratégique, et les matériaux critiques clefs à surveiller.
-  Soutenir les efforts de R&D dans les matériaux critiques pour optimiser leur usage, favoriser leur substituabilité et améliorer leur recyclabilité.



# 8. Adapter les compétences et les formations aux besoins de la filière

## Une filière stratégique créatrice d'emplois

L'État et les acteurs de la filière partagent un objectif clair : **réussir à développer une filière française compétitive de l'hydrogène d'ici 10 ans, créatrice de valeur et d'emplois sur les territoires.** Pour accompagner son essor, la filière va faire face à des besoins importants en savoir-faire et compétences nécessaires à la maîtrise, à la maintenance et à la sécurité des technologies. Les métiers de la transition énergétique requièrent d'adapter nos formations en conséquence et fournissent **des relais de transformation pour des industries en crise.**

A l'horizon 2030, ce sont entre 50 000 et 150 000 emplois directs, indirects ou maintenus qui vont être générés dans le domaine de l'hydrogène<sup>19</sup>. Ce potentiel d'emplois couvre toute la chaîne de valeur, des métiers et compétences afférant à la production d'hydrogène, à son transport, son stockage, sa distribution, mais aussi ses usages dans l'industrie et dans les différents modes de transport (routier, ferroviaire, maritime, fluvial, aérien).

## Des métiers aux compétences scientifiques et techniques

Au total, France Hydrogène identifie jusqu'à **84 métiers dans le secteur de l'hydrogène**, listés dans son référentiel des métiers et compétences de la filière<sup>20</sup>. Electronicien de puissance, électromécanicien, certificateur, chargé de conformité, tuyauteur-canalisateur, ingénieur mécatronique... La filière fait appel à des métiers existants auxquels il faut bien souvent ajouter une « **coloration hydrogène** », une spécialisation plus ou moins importante dispensée pour l'essentiel en entreprise faute d'une offre de formation initiale encore suffisamment développée aujourd'hui.

La filière étant en phase d'industrialisation, **les activités de conception sont prédominantes, et les profils d'ingénieurs multi-domaines sont plébiscités** : 49 métiers sur 84 sont accessibles par des profils dotés a minima d'un bac+5 scientifique.

Ces ingénieurs doivent pour beaucoup maîtriser les domaines techniques liés à l'hydrogène comme le génie électrique, la mécanique des fluides, ou l'expertise Qualité-Sécurité-Environnement. Mais la montée en puissance des technologies et le déploiement progressif d'écosystèmes hydrogène dans plusieurs bassins du territoire va **nécessiter à court terme des profils de techniciens et d'opérateurs**, avec une forte maîtrise opérationnelle de la mécanique, de la métrologie et du génie électrique.

Les métiers de la filière hydrogène font appel à des compétences scientifiques et techniques déjà très demandées par d'autres filières industrielles. Ainsi **17 métiers sont déjà identifiés comme en tension**. Or développer les compétences et les formations contribuerait à pallier le manque d'attractivité des filières industrielles. La filière hydrogène peut contribuer à **faire changer l'image et la perception de l'industrie en France**. Du chaudronnier à l'ingénieur en matériaux, du soudeur à l'électromécanicien, tous sont requis par cette filière industrielle qui valorise les métiers de l'innovation et de la transition écologique.

## Adapter les formations à l'hydrogène et à la transition écologique

Pour pallier le risque de pénurie de compétences, la priorité doit être de former à la spécificité du gaz hydrogène et de ses utilisations, aux composants et aux modalités d'intervention. **Les collectivités territoriales s'organisent déjà pour développer une première offre**, de même du côté **des industriels qui se mobilisent**. Symbio dans la région lyonnaise a pour projet de lancer une *Hydrogen Academy* capable de former 300 personnes par an aux métiers de l'hydrogène. Air Liquide a lancé depuis la rentrée 2021 un BTS Hydrogène à Port-Jérôme, en Normandie. Dans la région Grand Est, l'IUT Institut Soudure PPE est en train de créer un diplôme universitaire en liaison avec la région voisine de la Sarre.

**L'offre de formation disponible sur le territoire national doit mieux s'adapter aux besoins des industriels de l'hydrogène**. Avec un nombre encore limité de formations spécifiques, l'Etat, les industriels et les instituts de formation doivent travailler ensemble pour développer des écosystèmes de formation.

**L'offre de formation initiale actuelle, en particulier des futurs ingénieurs, doit s'adapter aux besoins de l'industrie** pour des profils multi-domaines et doit être prise en compte dès à présent pour être développée à court terme. La « coloration hydrogène » des formations, via l'intégration de modules dédiés, sera capitale afin que les profils dont les compétences techniques sont multiples puissent être en mesure d'adresser des sujets hydrogène.

## Déployer des campus des métiers et qualifications de l'hydrogène dans les territoires

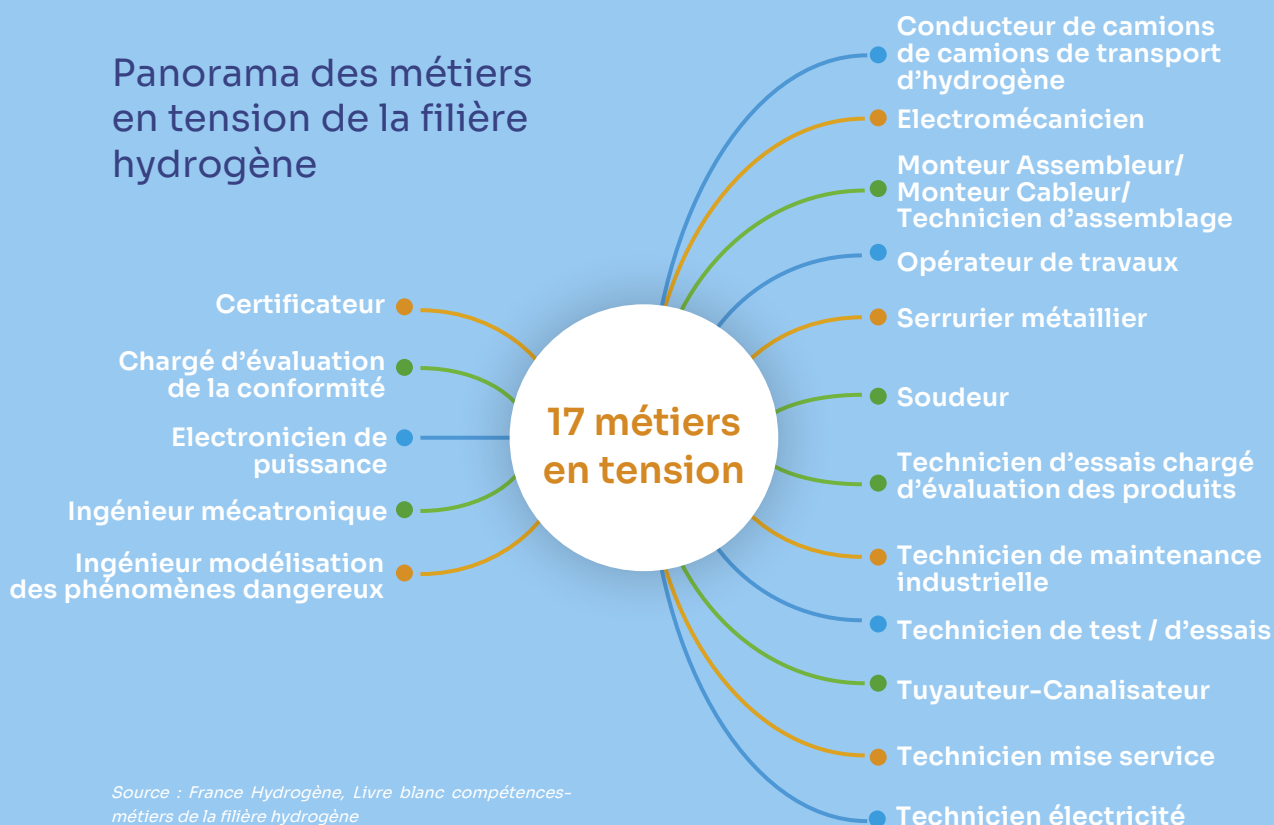
Le ministère de l'Education nationale et le ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche doivent accompagner **le développement de campus des métiers et qualifications, suivant l'engagement de l'Etat dans sa Stratégie hydrogène nationale**. Un appui spécifique devrait être porté à l'ingénierie 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.

Un campus des métiers et des qualifications rassemble, 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. Ces rassemblements présentent un quadruple intérêt : **renforcer l'attractivité des formations liées à la filière** ; permettre de former ensemble des lycéens et des étudiants de niveaux différents en les préparant ainsi aux interactions qu'ils auront les uns avec les autres dans leur futur métier ; **inscrire leurs activités dans un territoire donné** et participer ainsi des synergies qui s'y développent ; et ces campus peuvent **intervenir dans le champ de la formation continue** pour convertir à l'hydrogène des professionnels spécialistes d'autres énergies ou technologies.

# Nos propositions

- Renforcer les enseignements relatifs au changement climatique, à la biodiversité et au développement durable des enseignements primaires (cycles 2,3 et 4) et secondaires, en intégrant la perspective des nouvelles filières énergétiques d'avenir telles que l'hydrogène, afin de sensibiliser très tôt à son développement.
- Elaborer un grand plan d'adaptation des compétences aux métiers de la transition écologique, avec un volet pour l'hydrogène, afin d'adapter l'offre de formation initiale aux spécificités de l'hydrogène, mais aussi la formation continue.
- Déployer des campus des métiers et qualifications de l'hydrogène sur des territoires de prédilection afin de renforcer l'attractivité de la filière.

## Panorama des métiers en tension de la filière hydrogène



Source : France Hydrogène, Livre blanc compétences-métiers de la filière hydrogène

# 9. Simplifier les démarches et les procédures pour les acteurs de terrain

## Des travaux ministériels prêts à l'emploi en 2022

Utilisé comme matière première dans l'industrie, **l'hydrogène est soumis de longue date à une réglementation environnementale qui a fait ses preuves** pour encadrer et sécuriser sa production, son stockage, ou son transport. Néanmoins **ce cadre réglementaire n'est plus complètement adapté aux nouvelles ambitions et aux usages encouragés aujourd'hui** pour l'hydrogène renouvelable ou bas-carbone, et doit en conséquence être adapté pour faciliter les déploiements à tous les niveaux de la chaîne d'approvisionnement en hydrogène.

Le Conseil national de l'hydrogène a souhaité lancer en 2021 un vaste chantier d'indentification et de hiérarchisation des problématiques réglementaires rencontrées par la filière, avec **son initiative du « Pack réglementaire » pilotée par le ministère de la Transition écologique et France Hydrogène**. Ses travaux doivent aboutir au cours du premier semestre 2022 et fourniront **des propositions clefs-en-main à mettre en œuvre au plus vite** pour accélérer le déploiement des

technologies de l'hydrogène, tout en préservant un haut niveau de prévention des risques technologiques et industriels. L'acceptabilité sociale doit rester une préoccupation majeure et cruciale pour le bon développement de la filière.

## Les différents chantiers de simplification

**La production d'hydrogène par électrolyse**, encadrée au titre des installations classées protection de l'environnement (ICPE 3420), est aujourd'hui soumise à autorisation administrative dès le moindre gramme d'hydrogène produit. L'instauration d'un seuil permettrait d'apporter de la visibilité aux porteurs de projets sur les démarches à entreprendre, diminuer les délais d'instruction des dossiers aujourd'hui étudiés au cas par cas, et accélérer le déploiement d'électrolyseurs dans les territoires.



**Le stockage d'hydrogène** (ICPE 4715) est soumis à autorisation administrative à partir de 1 000 kg d'hydrogène stocké sur site. Une flotte de véhicules lourds supérieure à 20 unités (bus ou camions) implique des besoins de stockage supérieurs à ce seuil. Une réflexion doit être menée sur les possibilités d'évolution des seuils, de procédures d'autorisation simplifiées ou d'inclusion de nouveaux standards de stockage, pour éviter tout effet de seuil.

**Les normes en vigueur couvrant la mobilité hydrogène** constituent également un frein au déploiement. Les règles pour les stations de recharge en hydrogène (ICPE 1416) sont techniquement contraignantes et peu flexibles. Les distances imposées par exemple entre les points de recharge en carburants sont peu adaptées au cas d'une station multi-énergies pour une implantation en zone urbaine. Une réécriture de l'arrêté ministériel de 2018 sur les stations à hydrogène permettrait d'introduire plus de flexibilité. La rubrique ICPE 1416 pourrait être étendue aux mobilités ferroviaires, maritimes et fluviales. En outre, le déploiement de véhicules lourds à hydrogène devra s'accompagner de l'augmentation des seuils prévus de pressions d'usage ainsi que des débits de distribution encore trop faibles par rapport aux quantités requises par les véhicules.

Le remplissage en hydrogène liquide devrait également être pris en compte. Enfin, la réglementation pour la circulation et le stationnement de véhicules à hydrogène dans les tunnels et parkings souterrains ainsi que les normes de sécurité associées doivent être définies.

Enfin, **les normes de transport d'hydrogène** vont être amenées à changer à partir de 2023 avec l'entrée en vigueur de la nouvelle norme ADR EN 17339. Elle permettra d'utiliser des pressions de stockage d'hydrogène plus élevées et donc de stocker et transporter des quantités plus importantes. Il serait souhaitable de pouvoir utiliser cette norme de manière anticipée. Des problématiques de métrologie et d'instruments de mesure vont enfin émerger en même temps que les nouveaux usages de l'hydrogène pour lesquels une quantification précise de l'énergie distribuée est nécessaire.

# Nos propositions

-  Mettre en œuvre dès l'été 2022 des propositions réglementaires pour faciliter le déploiement des technologies de l'hydrogène sur l'ensemble de la chaîne de valeur, de la production aux usages.
-  Accompagner les industriels et organismes français dans les instances internationales et européennes de standardisation et de normalisation.

## RAYONNER À L'INTERNATIONAL

# 10. Promouvoir des coopérations industrielles européennes et la filière française à l'international

La France est accompagnée par de nombreux partenaires européens, parmi lesquels **l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Danemark, l'Espagne, l'Italie, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, ou le Royaume-Uni**. Ensemble, les stratégies hydrogène cumulées de ces

pays représentent **déjà plus de 30 GW de capacités d'électrolyse projetées à horizon 2030**, soit les trois quarts de l'objectif que s'est fixée l'Union européenne à cette échéance dans sa Stratégie hydrogène.



## Intensifier les coopérations industrielles avec nos partenaires européens

Pour rivaliser avec des concurrents internationaux, la France a besoin de **nouer des coopérations industrielles d'envergure avec ses partenaires européens**. C'est tout l'objet de l'initiative des **Projets importants d'intérêt européen commun (PIIEC) impulsée par la France, l'Allemagne et 17 Etats membres** pour débloquer auprès de la Commission européenne des aides d'Etat massives. **Deux premiers PIIEC** sur les technologiques de l'hydrogène ont été lancés en août 2021 pour aider la R&D et l'industrialisation de *giga-factories* d'électrolyseurs, de piles à combustible et de réservoirs pour hydrogène d'une part, et pour soutenir la décarbonation de process industriels d'autre part. Le feu vert de Bruxelles à ces deux PIIEC est en attente et devrait permettre à une quinzaine de projets français de bénéficier d'une première enveloppe de 3,2 milliards d'euros d'aides de l'Etat français pour soutenir l'investissement industriel sur le territoire français. Les ambitions industrielles des acteurs doivent être accompagnées rapidement pour stimuler l'émergence d'une filière française performante et forte en Europe et dans le monde.

**D'autres vagues de PIIEC pour l'hydrogène devront être lancées par la suite.** La volonté des Etats membres est présente, la France doit continuer à jouer un rôle moteur avec son partenaire allemand pour intensifier cette coopération industrielle en matière d'hydrogène. De nouveaux PIIEC devront voir le jour dès 2022 et 2023 et pourront **soutenir d'autres aspects de la chaîne de valeur**, tels que l'application de l'hydrogène au transport maritime et au transport aérien, le développement d'écosystèmes transfrontaliers, ou encore le déploiement des infrastructures de transport et de stockage de l'hydrogène à l'échelle de l'Europe, dans la mesure où ils soutiennent des technologies françaises.

## Défendre une législation européenne favorable

Avec son **Paquet législatif « Fit for 55 »**, la Commission européenne a présenté le 14 juillet un vaste chantier de réforme de ses législations sur l'énergie et le climat, qui contient **plusieurs mesures préparant un futur marché européen de l'hydrogène**. Réformes de la directive sur les énergies renouvelables (RED III), de la taxation des énergies (ETD), du déploiement des stations pour carburants alternatifs (AFIR), des normes CO<sub>2</sub> des voitures et VUL, du marché du carbone (ETS), création d'un



mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF) et nouveaux règlements pour les carburants renouvelables et bas-carbone dans l'aviation et le maritime (ReFuelEU Aviation et FuelEU Maritime), le tableau complet offre de **nombreuses opportunités pour stimuler l'offre et la demande d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone en Europe**. Une approche d'ouverture technologique basée sur l'empreinte carbone à partir du cycle de vie complet doit davantage être défendue dans les négociations à venir, pour s'assurer que la politique européenne soutient bien à la fois l'hydrogène renouvelable et l'hydrogène bas-carbone et sa souveraineté énergétique.

Assurant la **présidence tournante du Conseil de l'UE au premier semestre 2022**, la France jouera un rôle clef dans la **procédure de co-décision** entre les Etats membres et le Parlement européen pour faire avancer ces dossiers et parvenir à adopter des compromis entre les institutions. Le Gouvernement devra en particulier veiller à ce que les discussions et les grands arbitrages qui seront formulés soient bien compatibles avec les orientations de la Stratégie nationale hydrogène. En particulier, **le rôle que doit jouer l'hydrogène bas-carbone aux côtés de l'hydrogène renouvelable et les carburants de synthèse dérivés de l'hydrogène pour l'atteinte des objectifs réhaussés de réduction des émissions de GES de l'UE – jusqu'à -55 % en 2030 par rapport à**

1991 – **doit être pleinement reconnu** dans les différentes législations européennes<sup>18</sup>. Attendu pour décembre 2021, le Paquet pour la décarbonation des marchés de l'hydrogène et du gaz sera le vecteur législatif clef pour assurer cette reconnaissance. Il conviendra également d'adopter une approche progressive et flexible vis-à-vis d'un cadre qui définira le futur marché européen de l'hydrogène, encore en phase d'amorçage. Un système de certification harmonisé au niveau européen puis international doit enfin permettre d'encadrer des définitions standardisées de l'hydrogène renouvelable et de l'hydrogène bas-carbone, ainsi que des méthodes de calcul de l'intensité carbone de ces produits, afin que l'hydrogène devienne à terme une marchandise (commodity).

## Soutenir l'équipe de France de l'hydrogène à l'international

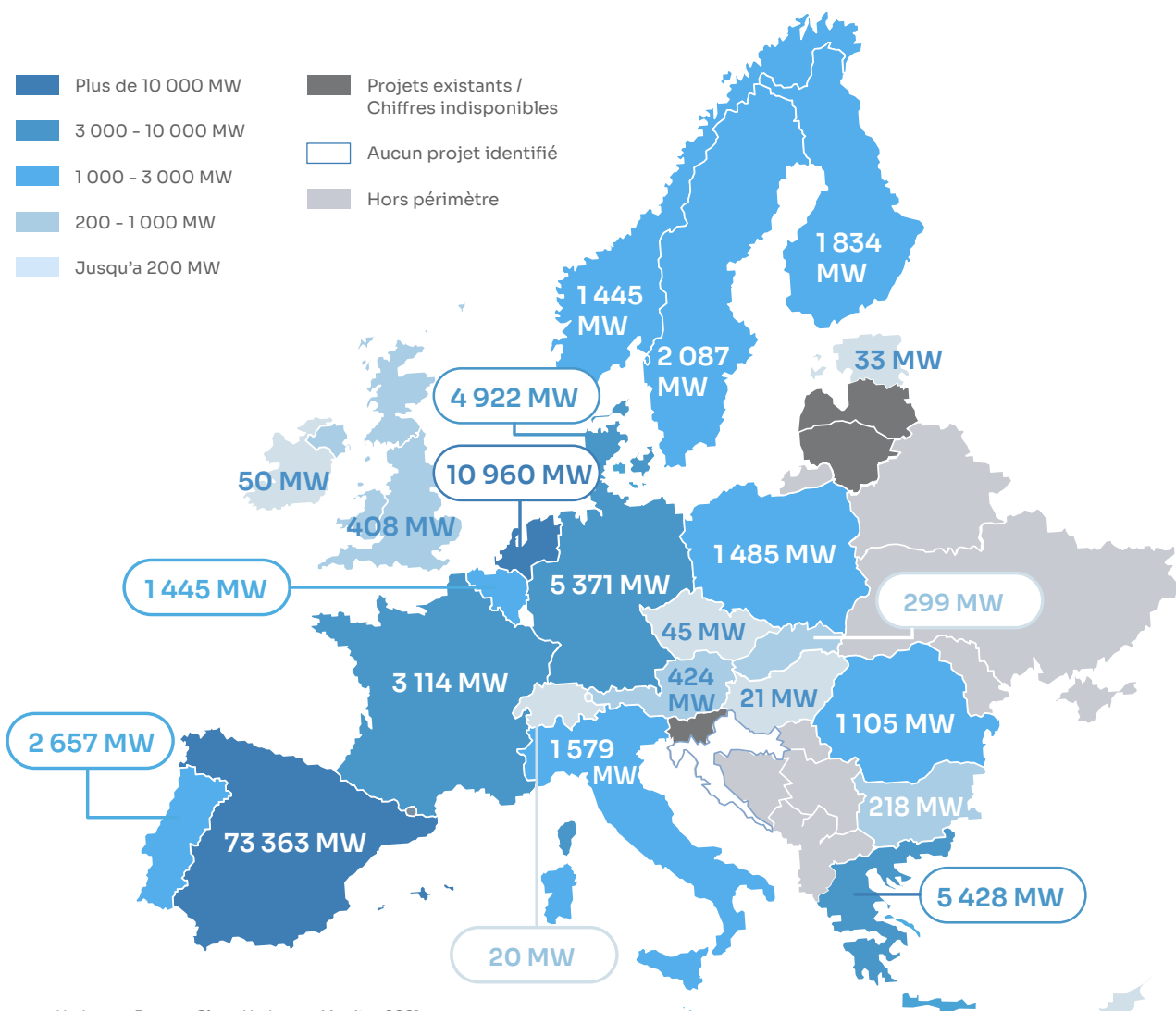
Avec près d'une quarantaine de pays engagés dans des stratégies de déploiement de l'hydrogène, des opportunités supplémentaires existent à l'international pour conquérir des marchés et encourager l'émergence de champions français des technologies de l'hydrogène. Angle mort de sa stratégie d'accélération pour l'hydrogène, un **volet de soutien des entreprises françaises développant des projets d'hydrogène renouvelable ou bas carbone hors UE** gagnerait à être **développé afin de stimuler les industriels**

français engagés dans un environnement de concurrence internationale, et les soutenir dans la conquête d'appels d'offres pour la décarbonation de marchés étrangers locaux.

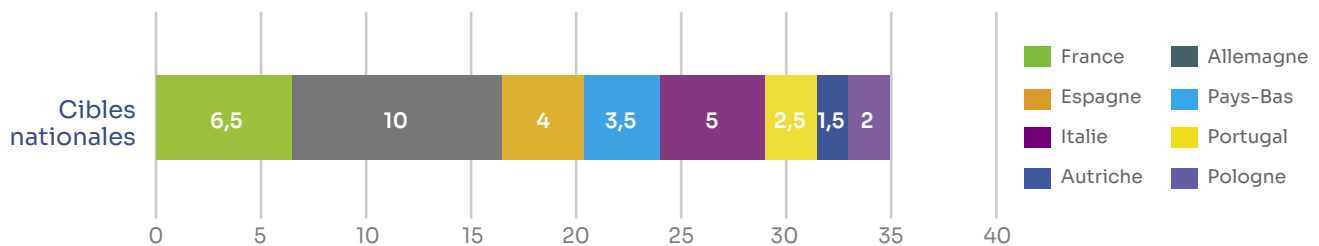
Des coopérations avec des pays tiers de l'UE dont les stratégies nationales hydrogène présentent des visions et objectifs convergents avec ceux de la Stratégie française permettraient de

mutualiser les soutiens publics accordés aux investissements dans le déploiement de technologies de l'hydrogène. Un soutien public à l'international de l'Etat français envers ces entreprises constituerait un atout pour remporter les appels à projets lancés dans des pays tiers et présentant des intérêts mutuels entre nos pays, et ainsi renforcer l'équipe de France de l'hydrogène.

### Carte des capacités d'électrolyse en projets par pays 2021-2030 en MW



### Contribution des Etats membres à l'atteinte de l'objectif européen de 40 GW de capacités d'électrolyse en 2030



## Nos propositions

- **Accompagner les 15 projets français sélectionnés dans les premiers Projets importants d'intérêt européen commun (PIIEC) sur l'hydrogène.**
- **Intensifier la coopération industrielle avec nos partenaires européens sur les technologies de l'hydrogène avec le lancement de nouvelles vagues de PIIEC, couvrant de nouveaux aspects de la chaîne de valeur de l'hydrogène.**
- **Saisir l'opportunité de la présidence française de l'Union européenne au premier semestre 2022 pour promouvoir le soutien à une filière de production d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone en Europe dans le cadre du Paquet Fit for 55 et du Paquet de décarbonation de l'hydrogène et du gaz.**
- **Compléter la Stratégie nationale hydrogène d'un volet de soutien aux projets hydrogène hors UE visant à multiplier les opportunités pour nos champions français, grands groupes et PME-ETI, dans des pays tiers, dans l'intérêt mutuel des deux pays.**



## Qui sommes-nous ?

France Hydrogène est une association régie par la loi du 1er juillet 1901. Elle fédère l'ensemble des acteurs de l'hydrogène en France : entreprises, laboratoires et instituts de recherche, pôles de compétitivité, collectivités territoriales et associations régionales. Avec pour ambition de permettre le déploiement de l'hydrogène au bénéfice de la transition énergétique et de la réindustrialisation, France Hydrogène mène les missions suivantes :

**FÉDÉRER** les acteurs de la filière sur toute la chaîne de valeur et permettre le déploiement des projets sur tout le territoire,

**COMMUNIQUER** sur les enjeux de la filière, et le rôle de l'hydrogène pour la transition énergétique et la réindustrialisation,

**FAIRE ÉVOLUER** le cadre législatif et réglementaire,

**FACILITER** la concertation sociétale autour des objectifs nationaux et des initiatives locales.

Pour accompagner le développement d'une filière en plein essor et agir au plus près des acteurs locaux, France Hydrogène a développé son maillage territorial avec **douze délégations régionales**. Ces délégations ont pour missions principales d'animer et de structurer la filière hydrogène au niveau local (acteurs économiques et industriels, institutionnels, collectivités), de soutenir et fédérer les initiatives, et de créer des ponts entre les différents acteurs de terrain pour accélérer le déploiement de projets hydrogène en France.

France Hydrogène est par ailleurs **membre du Conseil national de l'hydrogène**, instance de pilotage entre l'Etat et les filières industrielles de la mise en œuvre de la Stratégie nationale hydrogène.



# Sources et références

- 1-Haut Conseil pour le Climat, Renforcer l'atténuation, engager l'adaptation. Rapport annuel 2021, juin 2021
- 2-Agence internationale de l'énergie, Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector, mai 2021
- 3-Bloomberg NEF, New Energy Outlook 2021, juillet 2021
- 4-Bloomberg NEF, 'Green' Hydrogen to Outcompete 'Blue' Everywhere by 2030, mai 2021
- 5-Max Roser, "Why did renewables become so cheap so fast? And what can we do to use this global opportunity for green growth?" in Our World in Data, University of Oxford, décembre 2020
- 6-Gouvernement, Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France, septembre 2020
- 7-Agence internationale de l'énergie, Global Hydrogen Review 2021, octobre 2021
- 8-ADEME, Analyse de cycle de vie relative à l'hydrogène. Production d'hydrogène et usage en mobilité légère, septembre 2020
- 9-Hinico, Manifeste 6,5 GW. Pour une feuille de route de déploiement 2030, septembre 2021
- 10-RTE, La transition vers l'hydrogène bas-carbone, janvier 2020
- 11-Hinico, Manifeste 6,5 GW. Pour une feuille de route de déploiement 2030, septembre 2021
- 12-OPESCT, Note scientifique : les modes de production de l'hydrogène, avril 2021
- 13-Gouvernement, Programmation pluriannuelle de l'énergie pour 2019-2023 et 2024-2028, février 2019
- 14-Deloitte, Fueling the Future of Mobility. Hydrogen and fuel cell solutions for transportation, janvier 2020 et Hydrogen Council, Path to hydrogen competitiveness. A cost perspective, janvier 2020
- 15-Arrêté du 15 février 2021 relatif aux modalités de gestion de l'aide en faveur des investissements relatifs aux installations de recharge rapide pour véhicules électriques sur les grands axes routiers
- 16-Hinico, Manifeste 6,5 GW. Pour une feuille de route de déploiement 2030, septembre 2021
- 17-Gas for Climate, Extending the European Hydrogen Backbone, avril 2021
- 18-Agence internationale de l'énergie, The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, mai 2021
- 19-ADEME, Hydrogène : analyse des potentiels industriels et économiques en France, décembre 2019
- 20-France Hydrogène, Compétences-métiers de la filière hydrogène. Anticiper pour réussir le déploiement d'une industrie stratégique, avril 2021
- 21-France Hydrogène, Position Paper on the Fit for 55 Package. Adapting the EU legislations to foster renewable and low-carbon hydrogen, septembre 2021
- 22 - [https://www.afhypac.org/documents/France%20Hydrog%C3%A8ne\\_trajectoire%20grande%20ambition%20H2\\_web.pdf](https://www.afhypac.org/documents/France%20Hydrog%C3%A8ne_trajectoire%20grande%20ambition%20H2_web.pdf)



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



**France  
Hydrogène**  
Engagée pour la transition écologique

50 avenue Daumesnil - 75012 Paris  
Contact : [info@france-hydrogene.org](mailto:info@france-hydrogene.org)  
T. +33 (0)1 44 11 10 04

Edition: Décembre 2021  
Textes : France Hydrogène  
Conception graphique, illustrations : © Cap Interactif agency 1034