



GOUVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*

**FRANCE
NATION
VERTE >**

Agir • Mobiliser • Accélérer

Stratégie nationale de l'hydrogène décarboné 2025

Avril 2025

Table des matières

Table des matières	3
1. La stratégie nationale hydrogène : de premiers résultats encourageants, une nécessaire mise à jour.....	5
2. La France dispose d'atouts importants pour devenir un pays producteur d'hydrogène décarboné électrolytique.	7
3. L'hydrogène jouera un rôle important pour décarboner l'industrie et certains types de transport.	9
4. La France se positionne sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène.....	12
5. La France réaffirme son ambition de production d'hydrogène bas carbone par électrolyse. 16	
6. Pour permettre l'émergence d'une production nationale, la France met en œuvre un mécanisme de soutien à la production d'hydrogène.....	20
7. La France vise le développement de hubs d'hydrogène situés dans les principales zones industrielles.	21
8. Pour soutenir ce développement, la France met en place un cadre réglementaire national permettant la production, le transport et l'utilisation d'hydrogène bas carbone.....	24
9. L'accès à une électricité compétitive est une condition importante pour le succès de la production d'hydrogène bas carbone par électrolyse en France.....	28

1. La stratégie nationale hydrogène : de premiers résultats encourageants, une nécessaire mise à jour.

La stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné de 2020 a défini des objectifs au service des souverainetés industrielle et énergétique de la France. Cette stratégie ambitieuse se déploie au travers d'un budget de 9 milliards d'euros d'ici 2030 : elle prend appui sur les atouts de notre pays en termes de mix électrique bas-carbone, d'écosystème industriel et d'excellence en matière de recherche.

La France dispose d'un **mix électrique décarboné**, fondé sur le nucléaire et les renouvelables (hydroélectricité, éolien et photovoltaïque) et d'un **réseau électrique sûr et résilient**. Les caractéristiques de notre système électrique ont permis de déployer une stratégie nationale fondée sur la production locale d'hydrogène décarboné par électrolyse, approche permettant de réduire les besoins d'investissements en infrastructures de grand transport pendant l'amorce et la montée en puissance des nouveaux usages de l'hydrogène. Ainsi, soutenir la production nationale constitue un axe stratégique majeur confirmé par l'opportunité d'accroître notre **indépendance énergétique**, de même que viser une production proche des lieux de consommation.

Dans le même temps, la France a choisi de valoriser ses atouts dans la compétition mondiale, notamment son **excellence en matière de recherche** et son **écosystème industriel et technologique foisonnant**. Le développement d'une filière industrielle innovante et compétitive dédiée à l'hydrogène présente des opportunités importantes en matière d'emplois et de compétences en France et rejoint le besoin d'une **souveraineté industrielle** maintes fois démontrée depuis la crise sanitaire : l'indépendance énergétique assurée par la production domestique de l'hydrogène va de pair avec la maîtrise de ses technologies et équipements.

a. Un premier bilan conséquent rendu possible par l'action de l'État, des Régions et de l'écosystème hydrogène

Un soutien conséquent à la structuration de la base industrielle et de recherche française pour l'hydrogène a été déployé :

- **En amont, un Programme et Équipements Prioritaires de Recherche (PEPR)** dédié a permis de consacrer 83 M€ à 19 projets couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur, la production (électrolyse basse et haute température, photo électro-catalyse), le stockage (sous forme solide, gazeuse et liquide) ou encore les usages (Piles à combustibles à membrane échangeuse de protons ou PEMFC, Pile à combustibles à oxydes solides ou SOFC, ...).
- Pour les démonstrateurs, l'appel à projets « **Briques technologiques et grands démonstrateurs** » avec 350 M€ provenant du plan investissement d'avenir (PIA4), soutient des projets autour des électrolyseurs, des piles à combustible, et de l'ensemble de leur chaîne de valeur amont. 35 projets ont été soutenus à date.
- D'autres projets de première industrialisation ou de R&D ont pu être soutenus par les canaux pertinents de l'Etat, comme les AAP Première Usine, INVEST AUTO, ou encore les CORAC, CORAM, et CORIFER dans les secteurs de l'aérien, du maritime et du ferroviaire respectivement.
- En complément, pour anticiper et contribuer à répondre aux besoins en emplois et compétences de demain, neuf projets de formation ont été retenus en tant que lauréats à **l'AMI Compétence et métiers d'avenir**.

Les premières industrialisations anticipant une production de masse future ont par ailleurs été soutenues via différentes vagues de « **projets importants d'intérêt européen commun** » (PIIEC) pour l'hydrogène, dans son volet équipementier et politique industrielle. Le PIIEC, avec un

budget total de 3,075 Mds€ d'aide, a permis l'industrialisation des futurs majors français de l'hydrogène : ont déjà été approuvés par la Commission la construction de quatre usines de production d'électrolyseurs (McPhy, Elogen, John Cockerill, Genvia) positionnées sur les trois grandes technologies de l'électrolyse (alcaline, par membranes à échange de protons, haute température), mais aussi les piles à combustible pour des usages routiers (Symbio) ou encore l'ensemble des composants clés de l'amont de la chaîne de valeur (Plastic Omnium et Forvia sur les réservoirs, Arkema sur les membranes).

Du côté du soutien à la production d'hydrogène :

- **L'appel à projets « écosystèmes territoriaux »**, lancé en octobre 2020, a permis à date le soutien à 46 projets d'écosystèmes tournés principalement autour de la mobilité hydrogène, pour lesquels ont été soutenus de manière intégrée la production d'hydrogène, sa distribution et les véhicules consommateurs.
- **Le programme « projets importants d'intérêt européen commun » (PIIEC), dans son volet production d'hydrogène**, permettra également le déploiement sur notre territoire de 6 projets précurseurs de production massive d'hydrogène pour des usages industriels (chimie, ammoniac, raffinage...). Des projets ont été sélectionnés qui permettront d'installer les premières briques de production d'hydrogène au sein des zones industrielles françaises à Fos-Sur-Mer, au Havre-Estuaire de la Seine, ou encore dans la « Vallée de la Chimie » à Lyon, qui représentent des pôles de consommation majeurs d'hydrogène pour l'avenir.
- Le Gouvernement prévoit désormais de lancer un mécanisme de soutien à la production d'hydrogène destiné à l'industrie avec **un soutien à l'opération sur au plus 15 ans**. Ce dispositif permettra de **soutenir en plusieurs vagues l'émergence d'une capacité d'électrolyse de 1 GW pour un soutien complet envisagé à environ 4 Md€**. La première tranche a été lancée en décembre 2024.

L'écosystème industriel et de recherche, enfin, s'organise en lien avec les régions pour concrétiser les ambitions françaises. Les prises d'initiative des centres de recherche français, du secteur privé, et des acteurs régionaux et locaux, sans lesquelles la filière de l'hydrogène ne pourrait se développer, impulsent une dynamique vertueuse au service de notre souveraineté et de nos objectifs de décarbonation. Les coopérations entre différents acteurs de l'écosystème et leur organisation en coalitions sont essentielles et doivent continuer à prospérer, s'appuyant sur un cadre réglementaire, normatif, et financier adapté de l'État et des Régions. Cette dynamique devra encore s'accroître dans les prochaines années.

Par ces différentes actions, la France a soutenu plus de 150 projets qui permettront le développement de 8 000 emplois directs ; elle s'est positionnée avec des projets structurants sur l'ensemble de la chaîne de valeur des équipementiers, et peut déjà assurer pour 2030 l'installation sur le territoire de premiers projets conséquents de production d'hydrogène dans les futurs pôles clés de consommation.

b. Pourquoi une mise à jour ?

Plusieurs évolutions significatives sont intervenues depuis 2020 et doivent amener une mise à jour de la stratégie nationale :

- Une maturation technico-économique commune à toute nouvelle technologie, mais plus longue qu'initialement espérée par l'écosystème.
- Des plans conséquents ont été mis en œuvre à l'international (US, Chine, Japon, Corée, zone MENA, Amérique du Sud) en faveur de la production d'hydrogène ou de ses dérivés vers l'export et/ou le développement de ses équipements.
- Le paquet européen climat « Fit For 55 » adopté sous présidence française de l'Union européenne a de son côté défini des objectifs structurants à l'échelle de l'Union européenne.

Quatre ans après ses premières mises en œuvre, la stratégie française pour l'hydrogène décarboné doit donc être mise à jour pour tenir compte de ce contexte et des opportunités à court et à moyen terme que cet hydrogène décarboné est susceptible de créer.

Le marché de l'hydrogène décarboné commence à prendre forme. Le déploiement a toutefois été moins rapide qu'attendu, en France comme dans les autres pays du monde. La phase d'industrialisation et le déploiement des premiers projets de taille industrielle a pris plus de temps que prévu. Ce décalage est notamment lié aux enjeux de maturité des technologies d'électrolyse, au coût de production qui reste élevé, et à la mise en œuvre progressive du cadre appliqué au secteur. Il est nécessaire d'accorder encore du temps à la filière pour mettre sur le marché des électrolyseurs fiabilisés avec des rendements performants et des coûts mieux maîtrisés ; la technologie reste pour autant prometteuse. La production d'hydrogène décarboné par l'électrolyse sera essentielle pour l'industrie et le secteur des transports lourds non-routiers (aérien et maritime) mais ce chemin comprend des étapes qu'il faut franchir progressivement et peut être moins rapide qu'attendu.

Ces différents facteurs entraînent un lissage sur le temps de la consommation d'hydrogène et, partant, une rationalisation des objectifs atteignables en termes de déploiement de cette technologie à différents horizons temporels. Ils appellent d'autant à une mise à jour de la stratégie nationale, d'autant plus nécessaire qu'elle permettra d'en préserver les premiers fruits.

2. La France dispose d'atouts importants pour devenir un pays producteur d'hydrogène décarboné électrolytique.

L'utilisation de l'hydrogène ayant pour objectif la décarbonation de certains usages, son déploiement doit être uniquement évalué à l'aune des émissions de gaz à effet de serre associées à son cycle de vie. L'hydrogène décarboné, qui désigne l'hydrogène bas-carbone et l'hydrogène renouvelable, ne doit pas émettre plus de 3,38 kgCO₂éq/kgH₂ (de sa production à son utilisation) ainsi que précisé par la directive énergie renouvelable (RED) et par la directive gaz¹. Cela représente une réduction des émissions de gaz à effet de serre d'au moins 70 % par rapport à un combustible fossile (de référence fixée à 94 gCO₂éq/MJ par le droit européen). L'hydrogène bas carbone et l'hydrogène renouvelable contribuent de manière similaire à l'atténuation du changement climatique. Il est donc indispensable que la contribution de l'hydrogène bas-carbone soit reconnue au niveau européen à l'égal de celle de l'hydrogène renouvelable, dans l'atteinte des objectifs européens de réduction d'émissions de gaz à effet de serre. La France continuera à s'investir au niveau européen pour faire valoir ce point de vue, nécessaire à l'atteinte des ambitions climatiques européennes partagées.

La France continentale dispose d'un important socle de production d'électricité nucléaire et renouvelable, permettant de produire de l'hydrogène décarboné par électrolyse à partir de l'électricité du réseau : les émissions de gaz à effet de serre du mix électrique continental sont de 15,7 gCO₂éq/MJ_{élec} (valeur 2021)², ce qui permet de produire de l'hydrogène à moins de 3,1 kgCO₂/kgH₂ en connexion directe avec le réseau électrique continental. Les travaux menés par RTE dans son Bilan Prévisionnel 2023-2035 démontrent qu'en tenant compte du

¹ Directives 2018/2001 révisée et directive 2024/1788.

² Soit une utilisation de la valeur de 56,5 gCO₂éq/kWh_{élec 2021} pour la France continentale pour la production d'hydrogène. Les émissions moyennes des mix en Europe selon cette méthodologie étaient de 82 gCO₂/MJ en 2022.

développement combiné de l'électrolyse et de la production d'électricité bas-carbone, les émissions indirectes du système électrique sont très limitées en comparaison des baisses d'émissions directes. Par ailleurs, la possible flexibilité des électrolyseurs permet d'accroître le bénéfice en matière de réduction des émissions de CO₂. La réduction des émissions de gaz à effet de serre demeure importante même pour les électrolyseurs fonctionnant en base, ce qui peut être nécessaire pour certains secteurs industriels disposant de peu de capacités de stockage.

La France souhaite voir émerger une filière de production d'hydrogène bas-carbone par électrolyse de l'eau, utilisant l'électricité du réseau métropolitain conjointement au développement des capacités de production d'électricité bas-carbone (nucléaires et renouvelables). Les besoins en électricité correspondant aux quantités d'hydrogène identifiées à l'horizon 2030 et produites par électrolyse de l'eau seront de l'ordre de **20 à 30 TWh**. Les soutiens publics de la stratégie nationale hydrogène seront donc réservés à la production d'hydrogène décarboné par électrolyse.

3. L'hydrogène jouera un rôle important pour décarboner l'industrie et certains types de transport.

L'hydrogène représente un levier de décarbonation significatif pour certains usages industriels déjà consommateurs d'hydrogène (notamment raffinage et chimie) représentant une production spécifique par vaporeformage d'environ 400 kt/an à partir de sources fossiles et générant plus de 4 MtCO₂éq. Le secteur industriel reste, du point de vue du ratio de coût sur émissions de CO₂ évitées (€/tCO₂éq), le secteur le plus pertinent pour les usages de l'hydrogène décarboné. L'hydrogène décarboné constitue en outre une opportunité pour certains secteurs qui n'ont pas d'alternative pour se décarboner ou sont confrontés à des limites de disponibilité de la biomasse (notamment les carburants de synthèse pour l'aérien et le maritime).

Les travaux de planification écologique, notamment l'exercice « 50 sites les plus émetteurs » ont confirmé que la demande pour l'hydrogène électrolytique à destination de l'industrie serait plus tardive qu'anticipé initialement. Cette observation est confirmée par les études prospectives telles que l'étude Sisyphe du CEA ou l'analyse des inspections générales sur le sujet, tant au niveau français qu'europpéen. Ainsi, à horizon 2030, le besoin en hydrogène décarboné pour la France pourrait s'élever à 520 kt/an.

La stratégie française identifie ainsi les secteurs dans lesquels l'hydrogène jouera un rôle majeur pour atteindre les cibles de décarbonation :

Secteurs industriels

Le secteur du raffinage est d'ores et déjà un important consommateur d'hydrogène, dont une partie est issue du vaporeformage de méthane du réseau et une autre partie est coproduite par le procédé de réformage catalytique des produits pétroliers. Le secteur pourrait utiliser de l'hydrogène bas-carbone en substitution de l'hydrogène fossile utilisé aujourd'hui, si les conditions économiques l'y encouragent. La TIRUERT (Taxe Incitative Relative à l'Utilisation des Energies Renouvelables dans le Transport) valorise aujourd'hui l'utilisation d'hydrogène renouvelable ou bas carbone, dans le processus de raffinage ou comme carburant. L'hydrogène renouvelable est ainsi comptabilisé depuis le 1er janvier 2023 dans les objectifs d'incorporation, et l'hydrogène bas-carbone depuis le 1er janvier 2024. Les évolutions de la TIRUERT pourront être étudiées pour renforcer la visibilité donnée aux acteurs et favoriser les investissements dans des moyens de production d'hydrogène bas carbone par électrolyse.

Le secteur **de la chimie** consomme dans certains procédés de l'hydrogène produit à partir de méthane. Les obstacles technologiques à la décarbonation des procédés semblent surmontables, notamment parce qu'ils ne nécessitent pas de modification profonde de l'outil industriel. Une part importante des consommations actuelles du secteur pourrait ainsi être décarbonée à terme par un recours à l'électrolyse avec un cadre de soutien adapté. Une partie de la production de méthanol, aujourd'hui largement importée, pourrait également être relocalisée sur le territoire, en synergie avec d'autres secteurs comme la production de carburants aériens ou maritimes.

Pour le secteur des **engrais**, 10 à 15 % de la consommation actuelle d'hydrogène carboné des usines existantes, évaluée à 220 kt/an, peut être remplacé à horizon 2030-2035 par de l'hydrogène électrolytique sans modifier en profondeur les procédés. Certaines usines existantes de production d'engrais pourront s'appuyer également sur la technologie de capture et stockage du carbone (CCS) pour décarboner leurs activités. Dans un objectif de réduction de la dépendance aux importations d'engrais, l'implantation de nouvelles usines, conçues dès l'origine pour une production d'ammoniac décarboné, est cependant un objectif industriel.

La sidérurgie primaire utilise aujourd’hui, pour réduire le minerai de fer, des hauts fourneaux alimentés par du coke de charbon très émetteurs en gaz à effet de serre. Des réductions très importantes d’émissions de gaz à effet de serre sont possibles pour ce secteur avec des unités de réduction du minerai utilisant du méthane ou de l’hydrogène, combinées à l’utilisation de fours électriques. En particulier, l’usage de méthane associé à une brique de capture et de stockage du carbone résiduel ou l’injection d’hydrogène électrolytique permettront une décarbonation profonde des sites sidérurgiques primaires.

Décarbonation des vaporeformeurs existants

L’industrie française consomme actuellement environ 400 kt/an d’hydrogène carboné produit par vaporeformage du méthane, dit « hydrogène gris ». Outre les usages supplémentaires mentionnés précédemment, la décarbonation des consommations existantes reposera sur un équilibre entre l’utilisation de la technologie électrolytique et le recours à la capture et au stockage du carbone (CCS), parfois appelé par abus de langage « hydrogène bleu ». Le CCS pourra être privilégié si l’emplacement du site industriel permet l’accès à des infrastructures de stockage de CO₂. L’État français soutient donc également le développement de la capture du CO₂ pour décarboner l’hydrogène existant dans les grandes zones industrielles, conformément aux orientations présentées dans le document « État des lieux et perspectives de déploiement du CCUS en France » publié en juillet 2024. Ce soutien est mis en œuvre via les appels d’offres dédiés aux grands projets industriels de décarbonation (AO GPID).

Mobilités intensives

Le transport aérien fait l’objet d’obligations d’incorporation de carburants d’aviation durables (CAD) définies au niveau européen (règlement *ReFuel EU*) jusqu’à 2050. Celles-ci prennent la forme d’objectifs d’incorporation de ces CAD, aussi appelés *Sustainable Aviation Fuel (SAF)*. Au-delà de la sobriété des usages et de l’amélioration de l’efficacité énergétique des aéronefs, le déploiement des carburants d’aviation durables est le principal levier de décarbonation du transport aérien. Les obligations d’incorporation de *ReFuel EU*, qui comprennent des sous-obligations d’incorporation pour les carburants de synthèse, offrent des perspectives de consommation d’hydrogène renouvelable et bas-carbone importantes à long terme. Le secteur aérien pourrait devenir à terme le premier secteur consommateur d’hydrogène renouvelable et bas-carbone à partir de 2035 (étude Sisyphé du CEA).

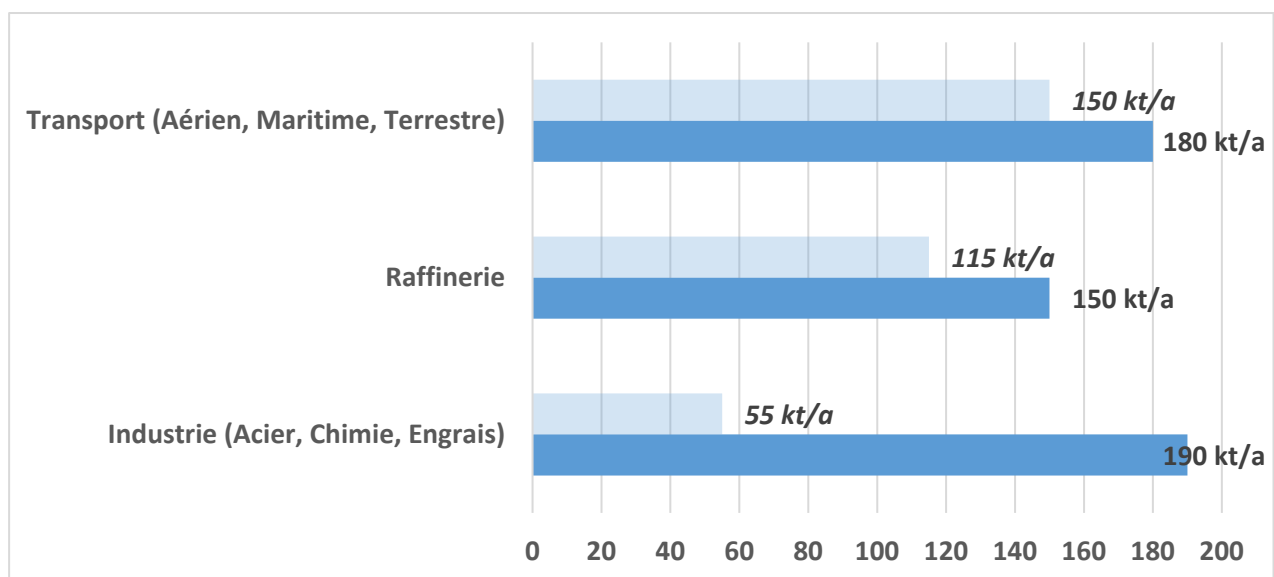
Le transport maritime aura lui aussi besoin de volumes croissants de carburants de synthèse pour répondre aux obligations réglementaires. Le secteur maritime, avec le règlement *FuelUE Maritime*, devra suivre une trajectoire de réduction de l’intensité carbone utilisée à bord des navires. Cette trajectoire, combinée avec l’inclusion du transport maritime dans l’ETS (*European Trading Scheme*), permet une trajectoire de décarbonation du transport maritime cohérente avec les objectifs de la Loi climat européenne de 2021 et l’objectif de neutralité carbone de l’UE en 2050. Une sous-cible imposant l’utilisation de 2 % de carburants synthétiques produits à partir d’électricité renouvelable (RFNBO) pourrait être introduite à partir de 2034 si la part de ces carburants dans le mix énergétique de la flotte est inférieure à 1 % en 2031, et sous certaines réserves liées à leur disponibilité et prix constatés à ce moment-là.

Pour le secteur de la mobilité routière, l’électrification des usages est le moyen privilégié de décarboner la mobilité routière. Le moteur électrique à batterie est en effet la solution décarbonée la plus efficace énergétiquement et la plus économique. La batterie sera tout particulièrement majoritaire dans un contexte urbain ; aucun cas d’usage pertinent ne peut se dessiner de même dans les véhicules particuliers, dont l’électrification sera donc « sans regrets ». Toutefois, dans certains cas d’usage spécifiques nécessitant une longue autonomie sur la journée, une forte disponibilité, un temps de recharge rapide, un maintien de la charge utile, ou encore des besoins énergétiques plus importants (changements de température,

dénivelés), l'hydrogène, bien que plus coûteux à date, pourrait devenir pertinent. Il s'agit notamment d'activités à besoin intensif de puissance ou ayant difficilement accès à l'électricité, comme certains véhicules lourds, les véhicules à besoin d'énergie embarquée (ex. frigorifique), les engins de chantier, les engins agricoles ou tout-terrains, les zones dans lesquelles une longue autonomie est nécessaire. La place relative de l'hydrogène dans ces segments devra se préciser au fur et à mesure de la progression de la décarbonation des transports.

En conclusion, les secteurs prioritaires pour l'utilisation d'hydrogène bas-carbone sont l'industrie et les mobilités lourdes et intensives (en particulier pour l'aviation et le maritime).

Table 1 : besoins estimés en hydrogène décarboné (ktH₂/an) en France par secteur à horizon 2030.



4. La France se positionne sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène.

a. La France est positionnée sur la production d'électrolyseurs.

Différentes technologies de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau existent. Deux technologies sont déjà commercialisées et fonctionnent avec des puissances supérieures à 1 MW : la technologie alcaline et la technologie dite membrane à échange de proton (PEM).

La technologie alcaline est particulièrement adaptée à des électrolyseurs de grande puissance, mais présente des perspectives de flexibilité faibles ou partielles. Cette technologie est à date la plus utilisée dans le monde. La France s'est également positionnée sur cette technologie à travers deux usines de production : celle de John Cockerill et celle de Mc Phy.

La technologie PEM reprend des concepts développés pour les sous-marins nucléaires et les vols spatiaux. Elle est particulièrement adaptée pour les électrolyseurs pouvant nécessiter des variations de puissance plus régulières. L'entreprise française Elogen se positionne sur cette technologie.

Les rendements de ces technologies varient d'une installation à une autre, mais se situent aujourd'hui autour de 60 % de conversion de l'énergie électrique en énergie hydrogène (comptabilisée en pouvoir calorifique inférieur ou PCI). Des améliorations de rendement sont espérées d'ici la fin de la décennie.

D'autres technologies, pas encore matures, laissent entrevoir une amélioration des rendements de l'électrolyse :

- L'électrolyse haute température permettra des rendements supérieurs à ceux des électrolyseurs alcalins ou PEM. Les rendements espérés sont supérieurs à 80 %. Ce gain n'est cependant possible qu'en présence d'une source de chaleur fatale, permettant de s'approvisionner en vapeur d'eau. En France cette technologie est née des travaux du CEA et se matérialise avec l'entreprise Genvia, visant la construction d'une usine d'électrolyseurs haute température.
- Les électrolyseurs AEM (électrolyse à membrane échangeuse d'anions) présentent les avantages des technologies alcaline et PEM, avec un moindre recours à des métaux critiques comme catalyseurs (voire à leur absence). L'entreprise Gen-Hy poursuit ses activités de R&D sur cette technologie et vise à construire à terme son usine.

La stratégie française s'appuie sur ces quatre technologies d'électrolyse afin de pouvoir bénéficier, à terme, de l'ensemble de leurs avantages respectifs (maturité, meilleure adaptation aux variations de charge, plus forts rendements potentiels, etc.). **C'est à ce titre que l'État soutient, par l'intermédiaire du PIIEC Hydrogène et à hauteur de 600 M€, le développement de cinq usines d'électrolyseurs couvrant l'ensemble des options technologiques.**

Pour ces technologies, des efforts de R&D et d'innovation sont soutenus pour améliorer la durée de vie et les performances, que ce soit au niveau des éléments cœurs ou des systèmes complets. La France soutient des travaux *via* le Programme et Equipements Prioritaires de

Recherche sur l'hydrogène décarboné et l'Appel à Projets Briques Technologiques et Démonstrateurs hydrogène.

Au-delà des électrolyseurs, la stratégie française relève d'une approche intégrée de la chaîne de valeur qui se traduit par un soutien aux différentes briques technologiques et à une pluralité d'usages. Des acteurs ont émergé sur l'ensemble des étapes : les matières premières, les composants et l'assemblage des électrolyseurs et du système global, ainsi que l'intégration. Une filière avale s'est également développée pour la mobilité hydrogène avec les fabricants de piles à combustible, les réservoirs, les acteurs du retrofit, et les constructeurs de véhicules.

La filière hydrogène française doit continuer de se structurer afin d'être plus résiliente et passer dans une phase de déploiement avec des technologies fiabilisées. La collaboration entre les acteurs industriels, la recherche, les fabricants de matériaux et de plateformes de test doit permettre de réduire les coûts, d'améliorer les rendements et d'allonger la durée de vie des équipements. La France continuera à accompagner ce travail de l'écosystème.

En application de ces orientations en faveur de la maîtrise de la chaîne de valeur hydrogène, la stratégie révisée vise en priorité (i) à assurer l'industrialisation des projets précédemment soutenus et (ii) à renforcer l'intégration de l'écosystème autour des fleurons français et la couverture de l'ensemble des produits et technologies clés de la chaîne de valeur. À cette fin, les autorités françaises continueront à s'appuyer à moyen terme sur les canaux déjà déployés depuis septembre 2020, en continuant à accompagner les projets portés par le PIIEC Hydrogène d'une part, et par les différents appels à projets pertinents pour les projets de TRL 1 à 9 d'autre part (PEPR H2, Briques Technologiques de l'Hydrogène, Première Usine...).

Les autorités françaises :

- Continueront l'appui aux projets de R&D et de première industrialisation des équipementiers hydrogène par ses différents appels à projets, avec à court terme une nouvelle relève de l'Appel à Projets Briques Technologiques de l'Hydrogène.
- S'impliqueront dans la maîtrise des matières premières nécessaires à la chaîne de valeur hydrogène à son amont, comme les platinoïdes pour les technologies PEM et piles à combustible, par l'intermédiaire du Fonds Métaux Stratégiques ou, en fonction des projets, des dispositifs d'aide adéquats ;
- S'impliqueront, dans le futur, dans l'élaboration d'un bilan carbone des équipements utilisés dans l'hydrogène (électrolyseurs, piles à combustible...), sur le modèle des travaux et mesures déployées pour d'autres produits clés de la décarbonation comme les batteries électriques.
- Accueillent favorablement les initiatives portées par les filières de l'hydrogène et du nucléaire française vers le déploiement d'une feuille de route technologique sur le couplage entre l'électrolyse haute température et le nucléaire. Cette initiative permettra à terme d'améliorer les rendements électriques de l'électrolyse jusqu'à 85%, en assurant la réutilisation de la chaleur fatale issue des nouveaux réacteurs nucléaires.

b. La France déploie une diplomatie sur l'hydrogène et soutient l'export de technologies françaises.

Depuis 2018, la France a concentré ses efforts sur le développement de sa filière hydrogène sur le territoire national pour lui permettre (i) d'avoir de premières références crédibles, (ii) de valider les choix technologiques clés et (iii) d'assurer des processus de production efficaces. L'écosystème qui en résulte, des développeurs de solutions innovantes aux nouvelles

entreprises spécialisées dans l'hydrogène, couvre l'ensemble de la chaîne de valeur, de la production aux usages, transport et stockage compris.

Aujourd'hui, face à une concurrence dynamique et alors que les capacités industrielles françaises sont dimensionnées pour pouvoir exporter, la filière hydrogène française doit être accompagnée dans son passage à l'échelle et dans la sécurisation de parts de marché à l'international. La projection de notre outil industriel à l'export, de notre expertise scientifique et technologique et de notre savoir-faire en matière d'élaboration de normes constitue en effet une composante essentielle de la vision stratégique de la France en matière d'hydrogène.

Aussi, pour assurer la viabilité et la croissance de la filière française de l'hydrogène, des mécanismes dédiés soutiendront les entreprises industrielles exportatrices. Dans un même temps, la France continuera de jouer un rôle actif dans l'élaboration des normes internationales, compatibles avec les technologies d'excellence de ses entreprises du secteur de l'hydrogène.

Dans ce contexte, la France déploiera une stratégie internationale ambitieuse afin d'accompagner la filière à l'export et de promouvoir la vision française du marché de l'hydrogène, portée par une concurrence internationale équitable. **En particulier :**

- **Le gouvernement renforcera les dispositifs existants de soutien français à l'export.** Le gouvernement élargit, dès à présent, le dispositif de « garantie interne » au secteur de l'hydrogène, afin de financer de manière compétitive les entreprises françaises cherchant à acquérir des équipements français et soutenir les fournisseurs nationaux de la filière. Le gouvernement pourra également autoriser le dé plafonnement des FASEP pour accompagner la filière à l'international.
- **Le gouvernement mobilisera par ailleurs une enveloppe de 100 M€ de subventions pour le soutien à l'exportation d'équipements.**
- **Les ministères concernés mobiliseront les outils de coopération technique, scientifique et universitaire existant pour contribuer au développement et au renforcement des partenariats en recherche, partager le savoir-faire français auprès de pays-tiers et les accompagner dans leurs stratégies de décarbonation.** À ce titre, des postes d'experts techniques internationaux (ETI) dédiés à l'hydrogène seront créés dans les trois ans. La diplomatie scientifique et universitaire sera également mobilisée afin de répondre aux besoins identifiés de formation technique et professionnelle de ces pays.
- **Les ministères concernés adopteront une approche intégrée et mobiliseront l'ensemble des outils disponibles dont les outils financiers (prêts aux politiques publiques de l'Agence française de développement, accompagnement de Business France, prêts du Trésor mixés, garanties export) ou encore ceux relatifs à notre diplomatie économique et diplomatie scientifique et universitaire.** Cette approche intégrée s'insérera dans des partenariats hydrogène, dans un premier temps avec des marchés pilotes avant leur généralisation à l'ensemble des marchés prioritaires. Ces partenariats auront vocation à décarboner le secteur industriel, accompagner la transition énergétique et promouvoir une vision partagée des normes pour l'hydrogène.
- **La France renforcera son action bilatérale et multilatérale,** y compris auprès des banques multilatérales. Elle promouvra la neutralité en matière de choix technologiques relatifs à la production d'une électricité décarbonée. La France s'implique d'ores et déjà dans les négociations relatives aux méthodologies de comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre de l'hydrogène ainsi qu'aux certifications de l'hydrogène qui seront nécessaires à l'atteinte des ambitions de

l'Accord de Paris. À ce titre, elle participe activement et soutient financièrement les travaux de l'IPHE – *International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy* et soutient les travaux de l'Agence Internationale de l'énergie.

- **Un pilote de la stratégie internationale de l'hydrogène sera chargé de mettre en œuvre, à brève échéance, un plan d'action opérationnel de la stratégie internationale.**

Ce plan d'action mis en place en concertation avec les administrations concernées, la filière et les opérateurs de l'État, suivra les principaux axes d'effort de la stratégie : défendre la capacité d'export des technologies depuis le territoire national et promouvoir les technologies et normes industrielles françaises. Les ministères concernés, en concertation avec le pilote de la stratégie, pourront désigner des conseillers hydrogène au sein des ambassades de quelques localisations prioritaires.

5. La France réaffirme son ambition de production d'hydrogène bas carbone par électrolyse.

a. Afin de garantir son approvisionnement cible en hydrogène bas-carbone, la France privilégiera à horizon 2035 la production sur son territoire national, en se dotant de capacités d'électrolyse et des moyens de la mettre en œuvre.

➤ **Aux horizons 2030 et 2035**, les capacités de production sur le territoire national devraient être en mesure de répondre aux besoins nationaux tant en volume qu'en termes de coût, notamment grâce à des quantités suffisantes et compétitives d'électricité bas-carbone. La France n'aura donc probablement pas de besoin structurel d'importation d'hydrogène à cet horizon. Les projets de déploiements d'infrastructures de transport d'hydrogène à partir de lieux de production situés à l'extérieur des territoires de l'Union européenne n'ont pas fait la démonstration d'un intérêt économique par rapport à des productions locales. Les incertitudes sur ces projets d'import d'hydrogène sont élevées, notamment à cause de délais de mise en œuvre estimés de six à dix ans, de coûts de construction élevés, des possibilités de financement et *in fine* des risques d'actifs échoués associés à des modèles économiques peu robustes. En 2030, seuls quelques projets pilotes internationaux devraient pouvoir être déployés.

À l'horizon 2030, jusqu'à 4,5 GW d'électrolyse pourraient être en fonctionnement en France pour répondre aux besoins en hydrogène. Cette évaluation tient compte des besoins actualisés des différents secteurs ainsi que des calendriers de déploiement finalement moins rapides qu'initialement escomptés.

À horizon 2035, l'augmentation des besoins et l'entrée en service des différents projets pourrait atteindre une capacité installée de 8 GW d'électrolyse. Cette cible intègre un fonctionnement plus flexible des capacités additionnelles installées, dans un contexte où le stockage d'hydrogène pourrait se développer.

À ces horizons temporels, l'intérêt économique pour la France des infrastructures d'import n'étant pas démontré et les risques de non-utilisation associés étant importants, les soutiens financiers et garanties publiques resteront centrés sur le développement de capacités sur le territoire national.

En parallèle, la filière des fabricants d'électrolyseurs pourra assurer son passage à l'échelle tant au moyen des marchés nationaux que par son déploiement à l'international, en bénéficiant de l'accompagnement du plan à l'export (voir partie 2).

b. À long terme, la France n'exclut pas les importations d'hydrogène bas carbone ou de ses dérivés, spécifiquement pour les molécules de synthèse, dès lors que celles-ci seront disponibles de manière compétitive.

➤ **Au-delà de 2035**, le recours aux importations, notamment de produits dérivés de l'hydrogène pourrait être justifié économiquement, à plusieurs conditions :

- la confirmation de besoins accrus en carburants synthétiques du secteur aérien et maritime, qui nécessitent des volumes importants d'électricité dédiés à leur production.

Cette spécificité des carburants de synthèse pourrait justifier le recours à l'importation, en complément d'une production nationale.

- Une compétitivité des productions étrangères supérieure aux capacités de production sur le sol national - ce n'est pas le cas à date.

Au-delà de 2035, les importations compétitives pourraient concerner (i) les molécules dérivées d'hydrogène (carburants de synthèse, ammoniac ou méthanol) pour un usage dans le transport aérien ou la production d'engrais notamment et (ii) à plus long terme, l'hydrogène sous forme gazeuse par canalisation depuis des zones proches géographiquement, comme la péninsule ibérique au travers du projet BarMar. Il n'est pas envisagé à date que les importations d'hydrogène liquide par voie maritime puissent jouer un rôle, même à long terme.

En conséquence, les soutiens financiers publics à la production d'hydrogène resteront donc, pour les prochaines années, réservés à la production nationale d'hydrogène décarboné par électrolyse.

Carburants d'aviation et maritime durables de synthèse

La France dispose d'une électricité bas-carbone et compétitive, qui constitue le principal intrant de la production de ces carburants de synthèse et ainsi un avantage pour positionner la France comme l'un des principaux producteurs de carburants de synthèse en Europe, et notamment de carburants d'aviation durables (CAD). La France dispose également de CO₂ biogénique en quantité – il s'agit d'une autre ressource indispensable à la fabrication de carburants durables de synthèse.

À horizon 2030, la France est en position de produire les premiers volumes de carburants de synthèse avec de l'électricité décarbonée à prix compétitif. Il s'agit d'une grande opportunité de renforcer la souveraineté énergétique du pays et de développer une expertise nationale dans cette filière cruciale. Ces carburants de synthèse seraient alors complémentaires aux biocarburants. La France a pour ambition de voir émerger sur le sol national une filière de production de carburants d'aviation durables de synthèse permettant de produire les quantités estimées nécessaires pour répondre aux mandats de carburants de synthèse pour 2030 et 2035 du règlement européen Refuel EU.

Pour des raisons climatiques, industrielles et de souveraineté énergétique, la France souhaite l'émergence rapide d'une filière de carburants de synthèse française pour couvrir les besoins du secteur aérien et du secteur maritime aux horizons 2030 et 2035. L'appel à projet FEED CARB AERO, dont les lauréats seront annoncés très prochainement, permet de financer les études d'ingénierie détaillée de plusieurs projets de production de CAD, et notamment de carburants de synthèse, en capacité de répondre aux besoins pour 2030.

La France ambitionne de se positionner dans le domaine technologique et l'exploitation de la production de carburant de synthèse notamment en prévision du développement des capacités de production, dans le monde, nécessaires aux transports aérien et maritime.

La feuille de route de décarbonation du transport aérien estime à l'horizon 2050 dans son scénario central pour le périmètre du transport aérien domestique français et du transport aérien international au départ de la France, le besoin de carburants d'aviation sera de 6,4 Mt, dont 4,2 Mt de carburants d'aviation durables, essentiellement de l'e-kérosène et de l'e-biokérosène. Grâce aux premiers projets innovants dont les études seront soutenues par l'appel à projets Carb'Aero, la France disposera d'unités de productions sur son territoire national et aura un savoir-faire industriel qui pourra être valorisé et exporté à l'international.

Au-delà des seuls carburants pour l'aérien, le secteur maritime fait face également à des enjeux de décarbonation importants. Les molécules de synthèse (e-méthanol et ammoniac notamment) dérivées de l'hydrogène représentent une partie de la solution de décarbonation du transport maritime.

Parallèlement, le secteur maritime devra lui aussi faire face à des enjeux de décarbonation importants pour lesquels les carburants de synthèse dérivés de l'hydrogène (méthanol, méthane, ammoniac) représentent une part essentielle de la réponse. La feuille de route de décarbonation du transport maritime estime à l'horizon

2050 dans son scénario de référence un besoin en électro-carburant de 43,7 TWh. Cette forte demande impliquera le développement d'infrastructures d'avitaillements dans les ports nationaux, mais aussi de projets de production d'électro-carburants à destination du maritime sur le sol national. Afin de satisfaire la totalité de la demande, des infrastructures d'importations des molécules pourraient également être amenées à se multiplier dans les ports français.

A long terme et à l'échelle mondiale, les projets industriels de carburants de synthèse, nécessaires pour décarboner les transports aérien et maritime, deviendront un débouché important pour les fabricants d'électrolyseurs.

Des travaux pour préciser la feuille de route sur les carburants de synthèse durables pour les secteurs aériens et maritimes seront initiés. Le levier réglementaire devrait être le principal moteur de la production de ces carburants de synthèse.

6. Pour permettre l'émergence d'une production nationale, la France met en œuvre un mécanisme de soutien à la production d'hydrogène.

a. Pour permettre l'émergence d'une production nationale pour l'industrie, la France met en œuvre un mécanisme de soutien à la production d'hydrogène

À court et moyen termes, le recours à l'électrolyse pour la production d'hydrogène pourrait rester moins compétitif que le recours au vaporeformage, même en tenant compte d'une propension à payer des consommateurs, plus élevée, et d'une diminution des coûts grâce à des avancées technologiques et à l'industrialisation des procédés. **Pour initier une filière de production d'hydrogène décarboné en France, des dispositifs de soutien sont donc nécessaires.** Soutenir la production nationale constitue un axe majeur de la stratégie nationale hydrogène. Ce soutien est justifié par des raisons climatique, industrielle et de souveraineté énergétique. **Les soutiens financiers publics à la production d'hydrogène seront réservés à la production nationale.**

Pour le secteur du transport et du raffinage, des efforts ont déjà été réalisés dans le domaine des biocarburants depuis plusieurs années. La Taxe Incitative Relative à l'Utilisation des Energies Renouvelables dans le Transport (TIRUERT) pourra inclure le soutien à l'hydrogène. L'hydrogène renouvelable est ainsi comptabilisé pour l'atteinte des objectifs de la TIRUERT depuis le 1er janvier 2023, et l'hydrogène bas-carbone depuis le 1er janvier 2024. Les modalités précises, notamment de traçabilité, à mettre en place pour pouvoir utiliser ce système seront finalisées une fois les définitions de ces deux produits stabilisées dans le droit européen et national. L'hydrogène renouvelable et l'hydrogène bas-carbone électrolytique pourront être valorisés dans l'atteinte de l'objectif de réduction de l'intensité carbone des carburants.

Pour l'hydrogène à destination de l'industrie, hors raffinage, un mécanisme de soutien à la production d'hydrogène décarboné, par électrolyse de l'eau, a été lancé. Il vise à améliorer la compétitivité de l'hydrogène électrolytique par rapport à l'hydrogène produit à partir de gaz fossile sur 15 ans maximum, apportant la stabilité nécessaire aux investissements. Ce mécanisme de soutien sera mené sous la forme d'une procédure de mise en concurrence en plusieurs phases. La première tranche, lancée le 19 décembre 2024, soutiendra une capacité de 200 MW. Il est prévu à terme de soutenir une capacité cumulée de 1 GW d'électrolyse en mobilisant environ 4 Md€.

Ces deux mécanismes de soutien à la production d'hydrogène décarboné viennent en complément des dispositifs existants. Le Gouvernement continuera par ailleurs à assurer le suivi du déploiement du PIIEC pour l'hydrogène, parachevant le lancement de derniers projets pilotes technologiques massifs pour la production d'hydrogène électrolytique. Différents appels à projets de l'État portant sur l'hydrogène pourront permettre de continuer à soutenir tant la politique de déploiement de l'hydrogène que ses briques technologiques et industrielles.

7. La France vise le développement de hubs d'hydrogène situés dans les principales zones industrielles.

La production d'hydrogène par électrolyse utilisant directement l'électricité décarbonée du réseau français permet d'optimiser l'organisation territoriale de la production, au plus proche du consommateur. En outre, la nature modulaire des grands électrolyseurs, composés de plus petites unités, ne permet pas d'économies d'échelle significatives. Il y aurait donc peu d'intérêt à concentrer la production sur de très grands sites plus éloignés des consommateurs s'il est possible de produire proche. Compte tenu de l'absence d'un réseau hydrogène à grande échelle, les sites de production seront donc généralement dimensionnés en fonction des consommateurs de proximité.

Du fait de la répartition géographique des usages en France, la production d'hydrogène va s'organiser entre des pôles de consommation « centralisés » massifs (notamment les zones industrielles de Fos-sur-Mer, Dunkerque, Le Havre-Estuaire de la Seine, Vallée de la Chimie), des pôles « semi-centralisés » autour des villes de taille moyenne ou des plateformes industrielles de plus petite taille et des pôles « diffus », notamment sur le réseau autoroutier en application du règlement AFIR. Avec l'appel à projets « écosystèmes territoriaux » lancé en octobre 2020, 64 projets, représentant 46 écosystèmes, sont déjà soutenus par l'État à hauteur d'environ 400 M€, pour un investissement total de 1,6 Md€. Orientés majoritairement vers la mobilité lourde, ces projets soutenus permettront, à court terme, d'installer de 130 MW d'électrolyse pour fournir 13 000 tonnes par an d'hydrogène décarboné distribué par une centaine de stations de distribution, en vue d'alimenter plus d'un millier de bus ou véhicules lourds. L'usage de l'hydrogène dans la mobilité routière lourde devrait se concentrer autour des grands axes européens et des bassins industriels, et potentiellement des métropoles avec des besoins pour les transports collectifs.

L'objectif prioritaire dorénavant est d'assurer que les principales zones industrielles françaises bénéficient toutes de premières capacités de production d'hydrogène à l'horizon 2030, afin d'assurer leur décarbonation. C'est en effet sur ces zones industrielles que se situeront en particulier les grands sites consommateurs stratégiques pour la souveraineté française.

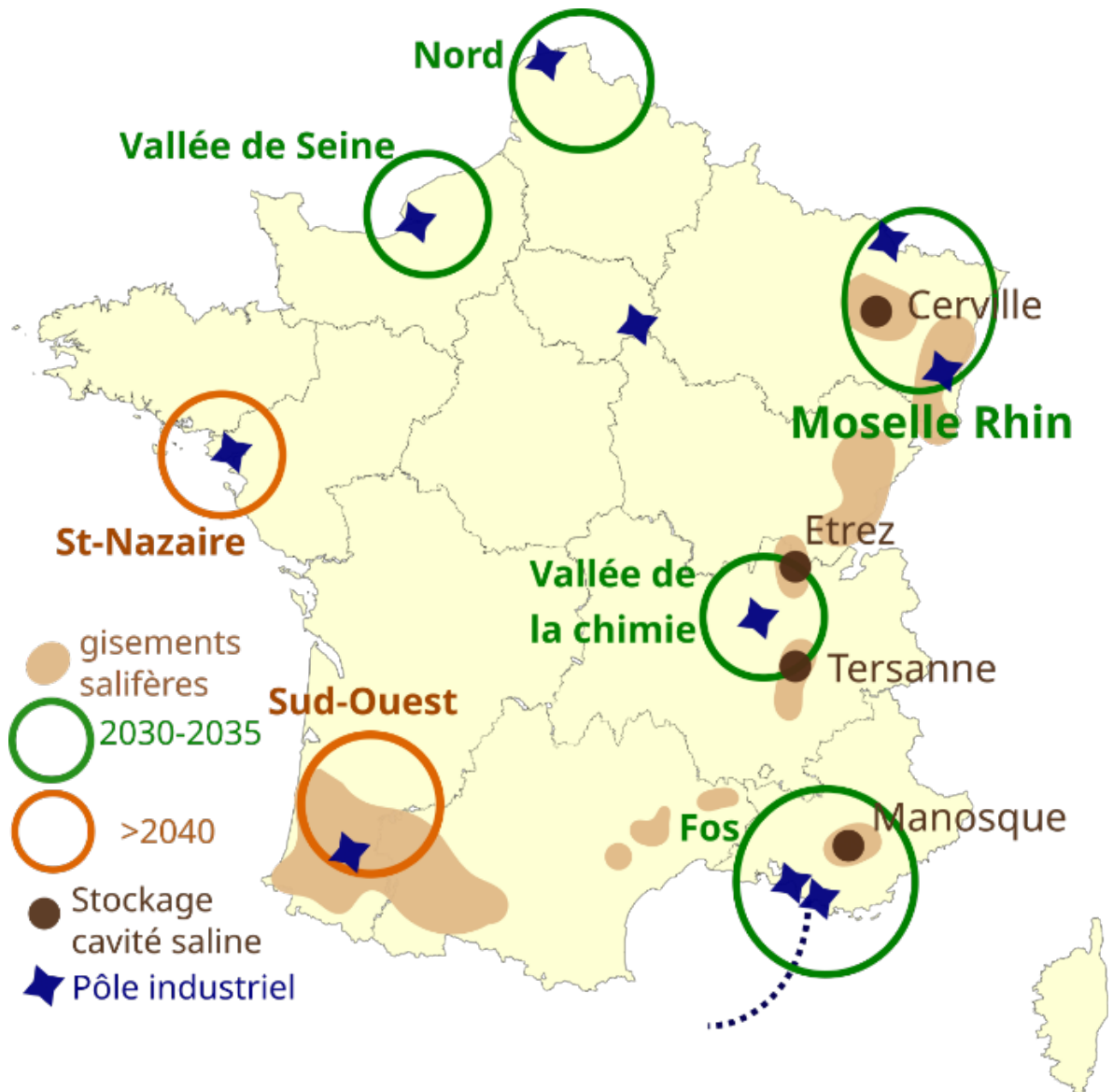
La priorité française en matière de développement du réseau hydrogène reste donc le déploiement d'infrastructures au sein de hubs hydrogène (canalisations dites « intra-hubs »), connectant producteurs et consommateurs, et leur connexion aux infrastructures de stockage. Cela représente à court terme environ 500 km de canalisations dans les principaux hubs. Ces hubs hydrogène seront déployés en priorité sur les bassins industriels, notamment de Fos-Marseille, de Dunkerque, du Havre-Estuaire de la Seine et de la Vallée de la chimie.

Les réseaux locaux permettront d'augmenter les débouchés pour les producteurs d'hydrogène, tandis que la concentration des usages dans les hubs permettra des économies d'échelle tirées de la mutualisation des infrastructures et qui seront essentielles à l'adoption pérenne de l'hydrogène par les consommateurs qui s'y trouvent. La mutualisation des canalisations, des stockages et des moyens de production au bénéfice de plusieurs consommateurs permettra en effet d'abaisser le coût du système complet. La connexion des réseaux hydrogène intra-hubs à des capacités de stockage conséquentes en cavités salines lorsque cela est possible, sera recherchée. Ces stockages apporteront la flexibilité nécessaire à l'optimisation du système énergétique, dans ses dimensions hydrogène et électrique, en permettant aux électrolyseurs

de maximiser leur production quand le prix de l'électricité est bas, ou de s'effacer lors des pointes de consommation électrique. Les stockages renforceront la sécurité d'approvisionnement en donnant des outils aux gestionnaires de réseau pour compenser l'impact d'une défaillance d'un producteur ou d'un consommateur. Lorsque des capacités de stockage en cavité salines ne sont pas disponibles à proximité des hubs industriels, d'autres solutions devront être envisagées pour accroître la sécurité d'approvisionnement, comme une interconnexion transfrontalière dans le cas du hub de Dunkerque par exemple.

Le dimensionnement des capacités de stockage sera corrélé avec les dynamiques de production et de consommation locales, nationales et européennes, et devra combiner les enjeux en termes de besoin de sécurité d'approvisionnement en hydrogène et de valeur pour la flexibilité des électrolyseurs au bénéfice du système électrique.

Le tracé envisagé pour ces premiers réseaux d'hydrogène et les sites de stockages nécessaires (capacités et emplacements) sera achevé à l'horizon 2026.



Au-delà des hubs hydrogène déployés en priorité dans des bassins industriels, des d'autres déploiements locaux pourront être nécessaires, pour alimenter des besoins industriels plus diffus.

Enfin, à plus long terme, un réseau européen de transport d'hydrogène pourrait voir le jour. Il permettrait de relier les zones de consommation aux régions présentant des coûts de production plus faibles que les productions françaises. Ainsi, le développement d'un réseau de transport entre les hubs (infrastructures dites « inter-hubs ») pourra être approfondi, sous condition d'un financement de ces infrastructures par leurs utilisateurs potentiels.

Les infrastructures de stockage et de transport d'hydrogène peuvent apporter des services de flexibilité au réseau électrique

Les analyses publiées par RTE dans son Bilan prévisionnel 2023 mettent en évidence l'intérêt de développer la flexibilité, notamment du côté de la consommation électrique, pour favoriser l'équilibre du système électrique.

D'une part, il s'agit d'assurer la sécurité d'approvisionnement en électricité et son utilisation optimale. Le développement de l'hydrogène produit par électrolyse conduira à une augmentation de la demande d'électricité et pourrait avoir un impact notable sur la pointe de consommation. La réduction de la consommation des électrolyseurs (effacements ponctuels) sur ces périodes contribuera à la maîtrise de ces pointes et à la sécurité d'approvisionnement en électricité.

D'autre part, au-delà de l'intérêt de développer la possibilité d'effacement des électrolyseurs, des modes de fonctionnement flexibles permettraient de concentrer le plus possible la production d'hydrogène lors des périodes où l'électricité bon marché et décarbonée est abondante, et ainsi d'optimiser le fonctionnement du système électrique ; pour profiter à la fois des périodes de plus faible consommation, et de celles de forte production, en particulier en raison du développement des énergies renouvelables. Selon les possibilités technico-économiques, les effacements pourraient être de différentes fréquences ou durées : ponctuels, lors des heures de plus fortes pointes électriques ; réguliers, par exemple sur des pointes quotidiennes pendant une partie de l'année ; voire ponctuels mais un peu prolongés, par exemple sur quelques jours de plus forte tension sur le système électrique au cours de l'année. Cette flexibilité contribuerait ainsi à limiter les émissions de CO₂ du système électrique européen, et pourrait faire baisser le coût de l'hydrogène produit par électrolyse en France.

L'effacement des électrolyseurs pourrait dans certains cas reposer sur l'effacement de procédés industriels consommant de l'hydrogène, mais ce levier pourrait être limité à certains procédés spécifiques. En pratique, un développement massif des possibilités d'effacement des électrolyseurs impliquera la mise en place de stockages d'hydrogène appropriés ou la mobilisation de capacités excédentaires de production non électrolytiques (vaporeformeurs existants en surcapacité reliés au même réseau hydrogène) pour permettre de maintenir l'approvisionnement en continu en hydrogène des clients industriels.

Une réflexion pilotée par RTE sera menée afin d'identifier les leviers et les modèles économiques du développement de la flexibilité sur l'électrolyse. Il s'agira (i) d'analyser les possibilités techniques de flexibilisation de l'électrolyse, éventuellement selon les usages finaux de l'hydrogène, (ii) d'identifier les conditions, notamment économiques, du développement de cette flexibilité et (iii) d'établir si les différents marchés et mécanismes existants de valorisation des services de flexibilité au système électrique sont adaptés aux services qui peuvent être apportés par l'électrolyse. Cette réflexion s'appuiera sur une concertation des parties prenantes.

Cette flexibilité nécessitera à moyen terme l'accès à des stockages massifs d'hydrogène, en cavités salines ; en plus des stockages de surface, qui pourront être développés à plus court terme à proximité des lieux de production et de consommation. L'étude publiée par RTE et GRTgaz à l'été 2023 puis le Bilan prévisionnel 2023 de RTE ont confirmé l'intérêt économique de développer des premières capacités de stockage et de les connecter aux bassins hydrogène les plus proches.

Ces stockages souterrains et les éléments de réseau nécessaires à leur desserte prennent plusieurs années à être développés, ce qui implique d'initier rapidement les premières études pour leur réalisation. Les principaux sites potentiels identifiés pour ce stockage se situent à proximité des hubs de Fos-sur-Mer et de la Vallée de la chimie.

Enfin, pour s'assurer d'exploiter toutes les possibilités existantes, le gouvernement a lancé une étude exploratoire sur l'hydrogène natif concernant les ressources ainsi que l'exploitabilité en France, son intérêt économique et ses impacts environnementaux. Les résultats de cette étude seront rendus publics début 2025. Un premier permis de recherche a été octroyé dans les Pyrénées-Atlantiques et d'autres sont en cours d'instruction. La France souhaite se donner les moyens de devenir un pays pionnier dans cette énergie du futur qui pourrait également être disponible sur le territoire.

8. Pour soutenir ce développement, la France met en place un cadre réglementaire national permettant la production, le transport et l'utilisation d'hydrogène bas carbone.

La France a adopté depuis début 2023 un ensemble d'évolutions réglementaires pour faciliter les procédures d'accès au foncier, d'autorisations, et de raccordement électrique des projets stratégiques à sa décarbonation, dont ceux impliquant l'hydrogène.

La loi Industrie Verte permet de diviser par deux les délais liés à l'autorisation environnementale et, pour les projets d'intérêt national majeur, d'adresser en amont de la vie des projets les procédures d'urbanisme et les obligations liées à la biodiversité.

La loi d'accélération pour les énergies renouvelables (APER) permet d'accélérer et de prioriser les raccordements électriques des projets stratégiques, mais aussi de simplifier les procédures pour la construction ou la reconversion des infrastructures de transport de l'hydrogène. RTE a d'ores et déjà engagé des projets de renforcement des réseaux autour des zones industrielles de Fos-sur-Mer, Dunkerque et du Havre, nécessaires pour permettre les premières étapes de décarbonation de l'industrie. L'accueil de nouveaux projets d'électrolyse devra être planifié pour préparer l'adaptation future du réseau électrique.

En parallèle, le cadre réglementaire national évolue pour s'adapter aux réalités de l'hydrogène dans sa production, dans son transport comme pour son usage. En effet, ses caractéristiques physiques nécessitent de définir un cadre réglementaire et normatif garantissant la sécurité de son utilisation pour l'ensemble des acteurs impliqués dans la filière. Les autorités françaises, par l'intermédiaire d'une feuille de route signée conjointement avec France Hydrogène en octobre 2021, travaillent notamment :

- sur la production, le stockage, et la distribution d'hydrogène au titre de la réglementation ICPE : des travaux sont engagés avec la filière afin de mettre à jour les prescriptions de l'arrêté ministériel relatifs aux stations de distribution d'hydrogène et accompagner le développement des activités plus conséquentes de production et de stockage d'hydrogène ;
- à la sensibilisation des acteurs au cadre réglementaire relatif à la mise en service et l'exploitation des équipements sous pression, fréquemment mis en œuvre dans la production, l'utilisation ou la distribution de l'hydrogène ;
- à la sensibilisation aux dispositions réglementaires de métrologie légale applicables au comptage (volume, masse ou énergie) de l'hydrogène dans le cadre d'une transaction commerciale ou d'une opération fiscale ;
- aux ajustements du cadre réglementaire concernant la construction ou la conversion de canalisations de transport existantes actuellement utilisées pour transporter d'autres produits, et aux suivis des actions menées par les opérateurs afin de lever les verrous techniques en particulier pour la conversion d'ouvrages : l'aptitude de ces canalisations à recevoir de l'hydrogène en toute sécurité doit être évaluée. Les opérateurs participent ainsi à des travaux normatifs et à des projets de recherches européens et procèdent aux essais nécessaires pour lever ces verrous.

La régulation des infrastructures d'hydrogène sera mise en place conjointement à l'élaboration du plan de développement des infrastructures

Les textes du 4^e Paquet gaz, dit paquet « hydrogène et gaz décarbonés », ont été adoptés par le Parlement et le Conseil européens, et les textes définitifs adoptés le 13 juin 2024. Ces textes créent un cadre réglementaire général assez contraignant pour le marché intérieur de l'hydrogène, fortement inspiré de celui mis en place pour le gaz naturel, tout en laissant plusieurs options à l'appréciation des États Membres. **La France prévoit de ne développer que des réseaux de transport d'hydrogène.** En effet, les réseaux de distribution ne se justifient que dans la perspective de desservir les particuliers en hydrogène, qui ne figure pas dans la stratégie française. La mise en place d'un réseau de transport d'hydrogène impliquera un dégroupage vertical et horizontal des activités des opérateurs, sauf dérogations dans des cas spécifiques (notamment pour des réseaux existants ou géographiquement limités). **L'enjeu lors de la transposition du texte sera pour la France de mettre en place un cadre de régulation adapté au développement progressif de la filière tout en fixant des conditions tarifaires permettant de donner la visibilité nécessaire aux consommateurs.** La France visera également l'établissement d'un cadre stable et favorable aux investissements, pour le développement d'une filière à forte intensité capitalistique. **La Commission de régulation de l'énergie sera dotée de nouvelles compétences pour assurer les missions de régulation de ces infrastructures et de ce marché.**

L'essor du marché de l'hydrogène nécessite un cadre de normalisation et de certification ambitieux, s'appliquant de manière équitable à l'hydrogène produit nationalement comme importé. Ce cadre est essentiel pour faciliter la constitution d'un marché européen et mondial, favoriser le développement à grande échelle, réduire le risque des investissements, et permettre le plein développement de la filière française de l'hydrogène : la France s'implique à cette fin avec sa filière dans le Forum européen de Haut Niveau sur la Normalisation afin

d'accélérer l'introduction des normes techniques nécessaires aux équipements comme à la production de l'hydrogène. Des systèmes de certification de l'hydrogène uniformisés à l'échelle européenne garantiront aussi que les qualités de l'hydrogène produit en Europe comme importé soient au niveau du cadre réglementaire européen et de nos ambitions de décarbonation : l'hydrogène importé devra par ce biais pouvoir démontrer qu'il respecte les mêmes règles et conditions que celles auxquelles répondent les producteurs domestiques.

Enfin, la France a investi significativement dans le domaine de la formation et des compétences par l'intermédiaire de son programme Compétences et Métiers d'Avenir (CMA) pour l'hydrogène. 41,5 M€ ont permis de déployer des programmes de sensibilisation et de formation dans 11 des 15 régions françaises : ils permettront de sensibiliser 100 000 travailleurs aux enjeux de l'hydrogène et de délivrer des formations techniques à 50 000 d'entre eux à des niveaux allant du Bac à Bac+5. Ce dispositif est complémentaire à des projets de formation déployés par des acteurs clés de la filière française de l'hydrogène pour leurs besoins internes tout en ouvrant leurs programmes à l'extérieur, par exemple la *Hydrogen Academy* de l'entreprise Symbio. L'État continuera à court et à moyen terme à accompagner le développement de la main d'œuvre qualifiée nécessaire à la filière par la mise en œuvre du CMA hydrogène.

Dans ce contexte, l'État poursuivra les mesures suivantes :

- Pour l'ensemble des projets industriels, déployer au travers des lois d'accélération des énergies renouvelables (APER) et Industrie Verte, les dispositifs appropriés pour faciliter les autorisations, les raccordements, et l'accès au foncier pour les projets stratégiques dans le domaine de l'hydrogène ;
- Adapter, avec les parties prenantes, le cadre réglementaire national, notamment en matière de sécurité, pour l'adapter aux spécificités de la production d'hydrogène, et sensibiliser l'écosystème à ces obligations ;
- Sensibiliser les acteurs de la filière à leurs obligations réglementaires, notamment pour le comptage de l'hydrogène afin de garantir la loyauté des échanges ;
- Soutenir le déploiement rapide des normes et des systèmes de certification nécessaire au développement du marché national, européen, et mondial de l'hydrogène, en veillant en particulier à assurer le même respect des règles européennes pour l'hydrogène produit nationalement comme importé de pays tiers sur la qualité de l'hydrogène produit et sa contribution à nos objectifs de décarbonation ;
- Continuer à soutenir le développement des formations et des compétences nécessaires à la filière de l'hydrogène pour disposer d'une main d'œuvre qualifiée par l'intermédiaire de son programme Compétences et Métiers d'Avenir.
- En accord avec le Plan d'action pour une gestion résiliente et concertée de l'eau, porter une attention particulière sur l'optimisation des ressources en eau dans les bassins industriels, en encourageant les innovations en ce sens et la valorisation des eaux non conventionnelles.

9. L'accès à une électricité compétitive est une condition importante pour le succès de la production d'hydrogène bas carbone par électrolyse en France.

Le prix de l'électricité est le principal facteur de coût de la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau. L'État poursuit donc ses efforts pour maintenir compétitive l'électricité bas-carbone, réduisant ainsi les coûts de production de l'hydrogène décarboné par électrolyse.

L'accès à l'électricité pour la production d'hydrogène ne se pose pas en termes de quantités : les ressources décarbonées resteront suffisantes aux horizons 2030 / 2035. L'enjeu essentiel réside dans le coût de fourniture. Le coût de production de l'hydrogène par électrolyse est fortement dépendant du prix de l'électricité. La maîtrise du prix de l'électricité approvisionnant les électrolyseurs est ainsi clé pour leur compétitivité et dépend des modalités contractuelles d'approvisionnement en électricité et de l'existence de dispositif de soutien public réduisant ce coût d'approvisionnement. S'agissant des modalités contractuelles d'approvisionnement en électricité, les électrolyseurs peuvent conclure des contrats de long terme de gré à gré (aussi appelés *Power Purchase Agreement* ou PPA) leur permettant de réduire leur exposition au prix de marché. La consommation d'électricité due à la production d'hydrogène ou de carburants de synthèse se fera en parallèle à la forte augmentation de la production d'électricité décarbonée tel que l'illustre le PNIEC (plan national intégré énergie – climat) et le projet de programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) en France (passage de 463TWh en 2022 à 640 TWh en 2035). En plus des ambitions de déploiement de moyens de production d'électricité renouvelables prévus dans la PPE, certains projets de production d'hydrogène prévoient le développement de capacités renouvelables additionnelles d'électricité.

Par ailleurs, les électrolyseurs sont éligibles à différents dispositifs visant à garantir une électricité compétitive. D'une part, l'électrolyse est complètement exemptée d'accises sur l'électricité et, compte tenu des caractéristiques de la consommation d'électricité des électrolyseurs, un abattement du TURPE (tarif des réseaux électriques) dès l'atteinte d'un seuil de puissance d'environ 2 MW (jusqu'à 81 % des coûts du réseau) s'applique. D'autre part, la compensation des coûts indirects des coûts du carbone permet de compenser pour partie les effets du prix des quotas de CO₂ sur les prix de l'électricité pour les industriels exposés au risque de fuite de carbone (du fait de leur exposition à la concurrence internationale et de leur électro-intensivité) ce qui permet de réduire significativement le coût d'approvisionnement en électricité : pour un prix du quota de 100 €/tCO_{2eq}, de l'ordre 30 €/MWh (soit 1,5 €/kgH₂). Le Gouvernement français souhaite que ce dispositif puisse être maintenu au-delà de 2030. Enfin, sous condition que les électrolyseurs soient en mesure de s'arrêter sur demande et dans le respect du cahier des charges établi par RTE, ceux-ci peuvent participer au dispositif « interruptibilité » pour une réduction du coût d'approvisionnement de l'ordre de 4 à 8 €/MWh.

Ces différents éléments permettent ainsi de réduire fortement l'écart de compétitivité par rapport à la production par vaporeformage.

Quelques repères numériques sur l'hydrogène

En considérant l'énergie contenue dans 1 TWh_{pci} d'hydrogène H₂ elle-même équivalente à 30 ktH₂, un rendement $k = 56 \text{ kWh}_{\text{élec}}/\text{kgH}_2$, la consommation d'électricité alors nécessaire pour produire 30 ktH₂ sera de 1,7 TWh_{élec}. Pour un temps de fonctionnement de 6500 h/an, la capacité d'électrolyse installée pour produire ces 30 ktH₂ serait de 260 MW.

Si le temps de fonctionnement augmente, la capacité d'électrolyse nécessaire diminue ; si le temps de fonctionnement diminue, – ce qui permettrait aux électrolyseurs d'adopter une consommation d'électricité flexible – la capacité d'électrolyse augmenterait. De même, des améliorations de rendements pourraient tirer les capacités installées à la baisse, pour une même cible de volume d'H₂ consommé.



GOVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*