



Comité d'évaluation
du plan France Relance

RAPPORT FINAL
Volume II – Évaluation des dispositifs

CHAPITRE 8
LE DÉVELOPPEMENT
DE L'HYDROGÈNE DÉCARBONÉ



SOMMAIRE

Messages clés	3
Synthèse	5
Introduction	8
1. Une nécessité pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050	8
1.1. L'hydrogène décarboné pourrait se substituer aux combustibles fossiles.....	8
1.2. Avant le plan de relance, de premières initiatives avaient été lancées.....	11
2. Quatre dispositifs cofinancés par France Relance	14
2.1. Descriptif des dispositifs et mise en œuvre.....	14
2.2. Objectifs et impacts attendus.....	19
3. Les premiers résultats	21
3.1. Le PIIEC hydrogène.....	21
3.2. L'AAP « Écosystèmes territoriaux hydrogène ».....	27
3.3. L'AAP « Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène ».....	29
3.4. Malgré de nouvelles contraintes, l'ambition française reste forte.....	37
Conclusion	40

Messages clés

La stratégie hydrogène de l'Union européenne, dévoilée en juillet 2020, met en avant l'hydrogène décarboné, produit sans énergie fossile ou avec captation de CO₂, comme un vecteur clé pour atteindre la neutralité carbone. L'hydrogène décarboné se distingue par son potentiel à remplacer l'hydrogène carboné dans les secteurs actuels et à supplanter les combustibles fossiles dans les domaines moins adaptés à l'électrification. Il ouvre également des perspectives pour l'équilibrage des systèmes énergétiques et le stockage massif d'énergies renouvelables électriques.

En France, cette ambition européenne se concrétise par la Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné, avec un investissement public de 9 milliards d'euros prévu jusqu'en 2030, dont 2 milliards issus du plan France Relance. Ces fonds se répartissent en quatre dispositifs : deux appels à projets de l'Ademe (« Écosystèmes territoriaux hydrogène » et « Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène »), un Projet important d'intérêt européen commun (PIIEC) et un mécanisme de soutien à la production d'hydrogène décarboné.

L'appel à projets « Écosystèmes territoriaux hydrogène », doté de 275 millions d'euros, vise le déploiement d'infrastructures pour la production et la distribution d'hydrogène décarboné, notamment dans l'industrie et la mobilité. Parallèlement, l'appel à projets « Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène », avec un budget de 350 millions d'euros, soutient le développement de technologies et de démonstrateurs pour structurer la filière. Le PIIEC, quant à lui, promeut la recherche et l'industrialisation à l'échelle de la chaîne de valeur de l'hydrogène, avec une enveloppe française de 1,575 milliard d'euros. Enfin, le mécanisme de soutien à la production d'hydrogène, doté de 650 millions d'euros, vise à réduire le coût de l'hydrogène produit par électrolyse.

Les premiers résultats de ces initiatives sont encourageants. L'appel à projets « Écosystèmes territoriaux hydrogène » a déjà désigné 16 lauréats, avec un focus notable sur le développement de la production, la distribution et l'usage de l'hydrogène dans diverses régions françaises. De même, l'appel à projets « Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène » a retenu 19 projets, couvrant un large éventail d'innovations. Sur les 19 projets, 12 mènent des innovations incrémentales sur des thématiques clés pour le déploiement de l'hydrogène décarboné en France (électrolyse, mobilité, off-road, etc.), tandis que les 7 autres portent sur des thématiques plus innovantes dont le déploiement est plus incertain (hydrogène liquide, moteur thermique, nouvelles infrastructures, etc.). Enfin, le PIIEC, avec

10 projets en France, montre un fort engagement dans la construction de giga-usines et le développement de technologies clés.

Cette dynamique s'inscrit dans un contexte où une évaluation complète des dispositifs reste à venir, compte tenu de l'achèvement prévu des projets entre fin 2023 et 2025, et des limites dans l'accès aux données. Néanmoins, ces initiatives reflètent un engagement fort de la France et de l'Europe dans la transition vers une économie fondée sur l'hydrogène décarboné, alignée sur les objectifs de neutralité carbone.

Synthèse

Contexte

Présentée le 8 juillet 2020, la stratégie hydrogène pour l'Union européenne consacre l'hydrogène décarboné (c'est-à-dire produit sans énergie fossile ou par vaporeformage du méthane avec captation de CO₂) comme une technologie clé pour atteindre la neutralité carbone. L'hydrogène décarboné pourrait se substituer d'une part à l'hydrogène carboné dans les usages où ce dernier est actuellement employé, et d'autre part aux combustibles fossiles dans les secteurs difficilement ou non électrifiables. À terme, il pourrait contribuer à l'équilibrage des systèmes énergétiques et éventuellement au stockage à grande échelle des énergies renouvelables électriques excédentaires. En septembre 2020, la stratégie européenne est déclinée en France avec la Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné.

Dans ce contexte, 9 milliards d'euros de fonds publics seront mobilisés d'ici à 2030 pour le développement de l'hydrogène décarboné en France, dont 2 milliards inscrits dans France Relance. Ces 2 milliards d'euros sont répartis entre quatre dispositifs : deux appels à projet (AAP) pilotés par l'Ademe : « Écosystèmes territoriaux hydrogène » et « Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène » ; un projet important d'intérêt européen commun (PIIEC) ; et le mécanisme de soutien à la production d'hydrogène décarboné.

Une évaluation complète et précise des dispositifs n'a pas pu être menée car la plupart des projets soutenus ne seront achevés qu'entre fin 2023 et 2025 et l'accès aux données individuelles a été particulièrement limité. Aussi, ce chapitre propose une description des projets soutenus dans le cadre des quatre dispositifs, dans la limite des informations transmises ou disponibles à ce stade.

Quatre dispositifs cofinancés par France Relance

Doté de 275 millions d'euros pour 2021-2023, dont plus de 88 millions d'euros inscrits dans France Relance, l'AAP « Écosystèmes territoriaux hydrogène » finance le déploiement d'infrastructures de production et de distribution d'hydrogène décarboné, en particulier dans les secteurs industriels où l'hydrogène sert déjà de matière première (chimie, métallurgie, électronique), et dans le domaine de la mobilité où l'utilisation de l'hydrogène se développe (véhicules terrestres et maritimes). Il peut également financer des projets d'applications stationnaires s'appuyant sur des groupes électrogènes contenant un système pile hydrogène.

Doté de 350 millions d'euros jusqu'en 2024, financés par le Programme d'investissements d'avenir (PIA), l'AAP « Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène » poursuit deux objectifs. D'une part, il vise à soutenir des travaux de développement ou

d'amélioration des composants et des systèmes liés à la production d'hydrogène, à son transport et à ses usages (volet « Briques technologiques »). D'autre part, il finance des projets de démonstrateurs, de pilotes ou de premières commerciales sur le territoire national, pour développer et structurer la filière (volet « Démonstrateurs »).

Le PIIEC vise à soutenir la recherche, le développement et l'industrialisation dans l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène. Il prévoit des aides publiques pouvant atteindre jusqu'à 5,4 milliards d'euros répartis entre les quinze États membres qui portent le projet. L'enveloppe française s'élève à 1,575 milliard d'euros, dont 1,275 octroyé par France Relance et 0,3 par le PIA 4.

Doté de 650 millions d'euros, le mécanisme de soutien à la production d'hydrogène vise à compenser le surcoût d'hydrogène produit par électrolyse par rapport à l'hydrogène fossile.

Les premiers résultats

L'AAP « Écosystèmes territoriaux hydrogène » compte seize lauréats, dont six aidés par le plan France Relance. Ce dernier apporte 88 millions d'euros sur les 250 millions nécessaires à la réalisation des six projets. L'un d'entre eux prévoit d'alimenter Paris et sa région en carburant à hydrogène, tandis que les cinq autres portent sur la production, la distribution et l'usage de l'hydrogène en Corse (deux projets), en Occitanie, en Bourgogne-Franche-Comté et en Provence-Alpes-Côte d'Azur.

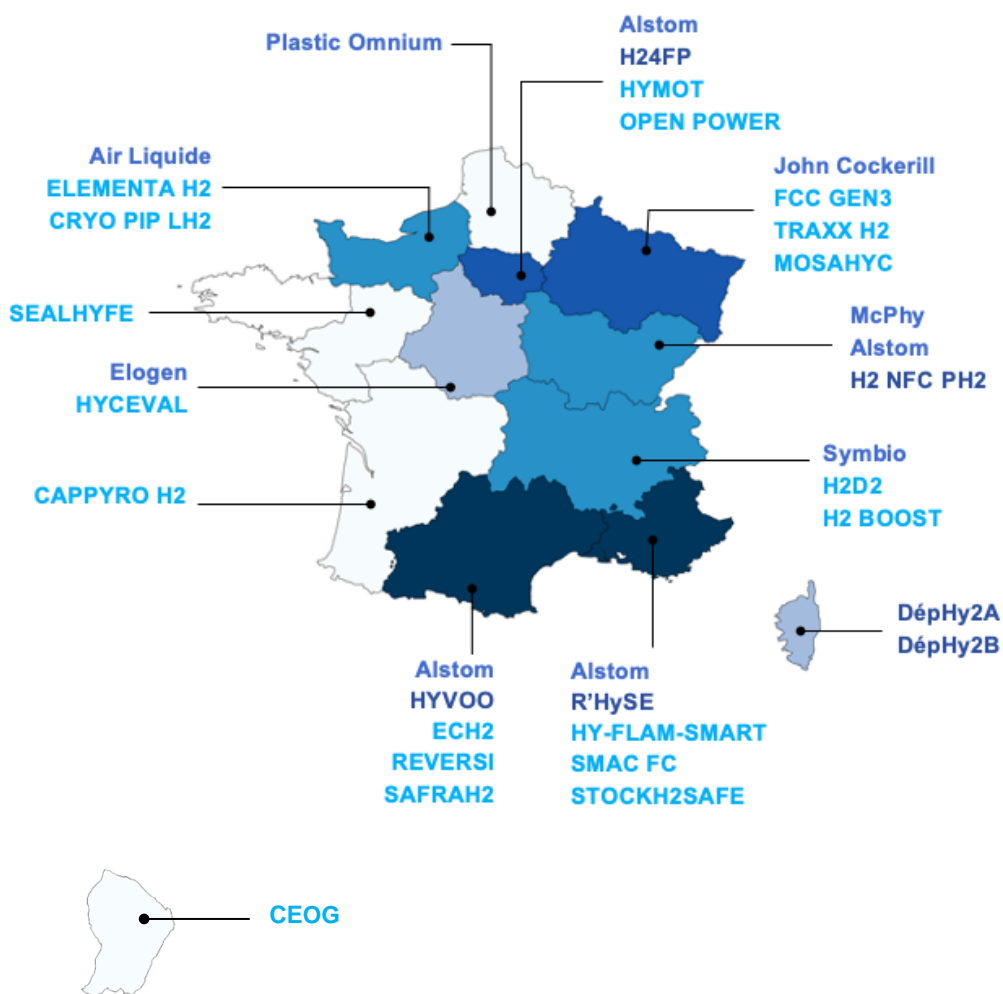
L'AAP « Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène » a retenu dix-neuf dossiers, soit quarante-trois bénéficiaires au total (la plupart des projets sont co-portés), et a octroyé une aide de 75 millions d'euros, pour un coût total de 349 millions. Près de 70 % des aides ont été octroyées à de grandes entreprises (GE) ou des entreprises de taille intermédiaire (ETI), alors qu'elles ne représentent que la moitié des quarante-trois bénéficiaires. Les projets sélectionnés recouvrent douze thématiques différentes (électrolyse offshore, pyrogazéification, bus électrique hydrogène, etc.). Sur les dix-neuf projets, douze mènent des innovations incrémentales sur des thématiques clés pour le déploiement de l'hydrogène décarboné en France (électrolyse, mobilité *off-road*, etc.), tandis que les sept autres portent sur des thématiques plus innovantes et dont le déploiement est plus incertain (hydrogène liquide, moteur thermique, nouvelles infrastructures, etc.).

Le PIIEC a retenu dix projets en France, dont sept cofinancés par France Relance. Ces sept projets prévoient la construction de giga-usines sur le sol français, et sont menés par les entreprises Air Liquide, Alstom France, Elogen, John Cockerill, McPhy, Plastic Omnium New Energies et Symbio. Quatre d'entre elles sont des GE, deux sont des PME, et une est une entreprise de taille intermédiaire (ETI). Cette dernière (Symbio) bénéficie de plus de la moitié de l'aide totale octroyée (669 millions d'euros), les quatre GE en ont

reçu un tiers (402 millions d'euros), et les deux ETI 16 % (200 millions d'euros). Les projets soutenus correspondent à sept thématiques différentes : l'électrolyse PEM, l'électrolyse alcaline, une locomotive hydrogène, un wagon générateur à pile à combustible hydrogène, les briques hydrogène, les réservoirs à hydrogène et les piles à combustible.

Le mécanisme de soutien à la production d'hydrogène n'a pas pu être étudié car les données n'ont pas pu être transmises au secrétariat.

Vue d'ensemble des projets en hydrogène décarboné soutenus par France Relance



Source : secrétariat du comité

Introduction

Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre en France, l'extension du recours à l'hydrogène décarboné semble être nécessaire. Ce dernier pourrait notamment décarboner les usages dans lesquels de l'hydrogène carboné est actuellement employé et ceux pour lesquels le recours direct à l'électricité est inenvisageable. Présentée le 8 juillet 2020, la stratégie hydrogène pour l'Union européenne consacre l'hydrogène décarboné comme une technologie clé pour atteindre la neutralité carbone. Le plan de relance « Next Generation EU » souligne que l'hydrogène constitue une priorité d'investissement afin de stimuler la croissance économique, de créer des emplois locaux et de renforcer la compétitivité de l'Europe dans les secteurs stratégiques. En septembre 2020, la stratégie européenne est déclinée en France avec la « Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné ».

Dans ce contexte, 9 milliards d'euros seront mobilisés d'ici à 2030 pour le développement de l'hydrogène décarboné en France, dont 2 milliards financés par le plan France Relance. Ces 2 milliards ont été répartis entre l'appel à projets (AAP) « Écosystèmes territoriaux hydrogène » (doté de 275 millions d'euros pour 2021-2023, dont 75 financés par France Relance), l'AAP « Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène » (doté de 350 millions d'euros jusqu'en 2023, financés par le Programme d'investissements d'avenir - PIA), le Projet important d'intérêt européen commun « Hy2Tech » (1,575 milliard d'euros, dont 1,275 financé par France Relance) et le mécanisme de soutien à la production d'hydrogène décarboné (650 millions d'euros).

Le présent chapitre expose un premier bilan des dispositifs déployés par le plan France Relance, en présentant les caractéristiques des projets soutenus ainsi que les montants d'investissements engagés. En revanche, dans la mesure où la plupart des projets soutenus ne seront achevés qu'entre fin 2023 et 2025 et que l'accès aux données a été particulièrement limité, le secrétariat du comité n'a pas pu mener une évaluation complète et précise des dispositifs.

1. Une nécessité pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050

1.1. L'hydrogène décarboné pourrait se substituer aux combustibles fossiles

À l'aune de sa Stratégie nationale bas carbone (SNBC), la France doit diviser par au moins six ses émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990 pour atteindre la neutralité carbone d'ici à 2050. L'enjeu principal réside dans la décarbonation de sa consommation énergétique, qui représente près de 70 % des émissions françaises de gaz à effet de serre.

L'hydrogène décarboné pourrait jouer un rôle clé à cet égard, en complément des autres solutions de production d'énergie bas carbone (électrification directe, bioénergies, etc.). Selon les orientations de la SNBC, l'hydrogène décarboné peut notamment se substituer à l'hydrogène carboné dans les usages où ce dernier est actuellement employé (production d'ammoniac, raffinage des produits pétroliers, transports routiers, chauffage des bâtiments, etc.). Il peut également se substituer aux combustibles fossiles dans les secteurs où le recours à l'électricité est difficile (procédés industriels à très haute température, transports maritimes et aériens, engins agricoles, etc.). À terme, l'hydrogène décarboné et ses dérivés pourraient apporter de la flexibilité aux électrolyseurs, et éventuellement participer au stockage des énergies renouvelables électriques excédentaires.

L'orientation transport 1 (T1) de la SNBC suggère notamment que la décarbonation des transports aériens nécessiterait un soutien à la recherche et au développement pour améliorer et/ou développer des alternatives aux hydrocarbures, ainsi qu'une augmentation significative de la part de carburants alternatifs fortement décarbonés, notamment des e-fuels fabriqués à partir d'hydrogène. Adoptés par le Conseil européen en 2023, les règlements FuelEU Maritime et ReFuelEU Aviation établissent un cadre pour accroître l'utilisation de ces carburants renouvelables dans les transports. Dans le secteur aérien, ils devront ainsi représenter 1,2 % des carburants employés d'ici à 2030, et 35 % d'ici à 2050.

L'hydrogène (H₂) se présente essentiellement sous la forme d'un gaz invisible, très léger, et rarement présent à l'état pur. Sa densité énergétique en volume étant très faible (11 à 13 MJ/m³ à l'état gazeux à pression atmosphérique ambiante), il demeure limité à des usages de matière première dans l'industrie, et est peu développé pour les usages énergétiques. En France, l'ordonnance n° 2021-167 distingue trois types d'hydrogène : l'hydrogène renouvelable (produit par électrolyse de l'eau à partir d'électricité issue des énergies renouvelables) ; l'hydrogène bas carbone (produit par électrolyse de l'eau à partir d'électricité issue du réseau électrique français) ; et l'hydrogène carboné (produit par vaporeformage de gaz naturel sans captage du CO₂ ou par électrolyse alimentée par une électricité carbonée).

La quasi-totalité de l'hydrogène produit dans le monde est carbonée. Chaque année, sa production libère environ un milliard de tonnes de CO₂ dans le monde, dont 70 à 100 millions au sein de l'UE. Selon l'Ademe, 620 000 tonnes auraient été consommées en France en 2019, soit 20 TWh¹. Elles sont produites en très grande majorité à partir d'énergies fossiles (gaz, charbon, hydrocarbures), et émettent plus de 11 millions de tonnes de CO₂ par an, soit 3 % des émissions nationales. Le déploiement à grande échelle

¹ Ademe (2021), *Transition(s) 2050. Choisir maintenant. Agir pour le climat*, rapport « Horizons ».

de la production d'hydrogène décarboné reste donc très préliminaire, et s'accompagne de plusieurs enjeux :

- Un coût de production élevé : il varie entre 5 et 9 euros/kg¹, soit bien plus que celui de l'hydrogène gris carboné qui se situe, en conditions « pré-2021 » des prix du gaz fossile, à 1,50 euro/kg. Selon les prévisions de Bloomberg, les coûts de production pourraient néanmoins chuter jusqu'à 85 % d'ici à 2050, du fait notamment de la baisse des prix de l'électricité solaire.
- Des pertes énergétiques substantielles : au moins un quart de l'électricité nécessaire au moment de sa production est perdu, auquel peuvent s'ajouter des pertes supplémentaires pour le conserver à très basse température lorsqu'il est stocké sous forme liquide, puis dans la pile à combustible ou le moteur à combustion. À titre d'exemple, une voiture à pile à combustible à hydrogène ne disposerait que d'un quart de l'électricité initialement mobilisée pour avancer selon l'Ademe (soit un rendement global d'environ 25 %), nécessitant ainsi trois fois plus d'électricité qu'une voiture à batteries.
- Un besoin important en électricité renouvelable : la progression du recours à l'hydrogène décarboné ou bas carbone en France et en Europe est subordonnée au développement de la production d'électricité renouvelable, ou *a minima* bas carbone. Selon Deloitte, la production d'hydrogène en Europe en 2050 nécessitera plus de 1 800 gigawatts (GW) de capacités solaires et éoliennes et 1 600 GW d'électrolyseurs.
- Un besoin en investissements (R & D et industrialisation) et en soutien aux opérations pilotes : le développement d'un savoir-faire européen et la baisse des coûts de production d'hydrogène par électrolyse nécessite un soutien massif et continu de la part des États.

Encadré 1 – Les conclusions de la commission Criqui

Avec le PIIEC hydrogène et l'AAP « Écosystèmes territoriaux hydrogène », France Relance cible l'électrolyse comme voie de production de l'hydrogène. Comme le souligne le rapport *Hydrogène* de la commission sur les coûts d'abattement présidée par Patrick Criqui², cette voie est porteuse de développements technologiques et industriels autour de l'électrolyse, et donc d'un éventuel leadership futur. Elle ne pourra être déployée massivement en France qu'à la

¹ Lavergne R., Legait B., Clause E., De Rocca E. et Chriqui V. (2021), *La décarbonation des entreprises en France*, février.

² France Stratégie (2022), *Les coûts d'abattement. Partie 4 – Hydrogène*, commission présidée par Patrick Criqui, mai.

condition d'avoir très fortement développé les productions électriques décarbonées et les capacités de stockage, soit *a minima* à l'horizon 2040.

Parmi les solutions de décarbonation, la commission a identifié celles qui ont le plus grand potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre :

- l'hydrogène décarboné présente les coûts d'abattement les plus avantageux quand il est consacré aux usages « spécifiques » de l'hydrogène (soit principalement les usages industriels actuels), et à la production d'acier primaire, aujourd'hui consommatrice de charbon ;
- l'hydrogène bleu (qui consiste à capturer le carbone issu du reformage du méthane) ressort comme une voie de décarbonation à moindre coût, intéressante dès le court terme à condition de tenir compte de la question de l'approvisionnement en gaz. Le plan de relance ne finance pas, à ce stade, l'hydrogène bleu ;
- la voie turquoise, proche de l'hydrogène bleu (consistant à transformer du méthane par pyrolyse plutôt que par reformage), apparaît potentiellement intéressante par rapport à la voie bleue, mais sans qu'il soit possible à ce jour de mener des estimations précises.

1.2. Avant le plan de relance, de premières initiatives avaient été lancées

Les premiers projets liés à l'hydrogène dans les territoires s'amorcent dès 2018 avec le Plan national de déploiement de l'hydrogène, établi par le ministre de la Transition écologique et solidaire. Ce plan fait le constat des atouts de l'hydrogène pour la transition énergétique et propose des actions pour aller au-delà de la recherche et de l'innovation dans le domaine.

En 2019 les communes de Lens, Versailles et Pau ont été parmi les premières à mettre en service des bus à hydrogène, tandis que certaines collectivités territoriales se sont dotées d'une stratégie hydrogène pour développer leur « écosystème » local dès 2020. Ainsi le département de la Manche et la région Bourgogne-Franche-Comté se sont dotés de stratégies pour le déploiement d'un écosystème hydrogène territorial en 2020, baptisées respectivement « H2 Manche » et « plan de région BFC pour l'hydrogène ».

Au niveau national, les pouvoirs publics ont ouvert des crédits visant à développer la production et les capacités de stockage de l'hydrogène décarboné dans le cadre de diverses initiatives :

- en mai 2016, le ministère de la Transition écologique a lancé un appel à projets (AAP) dans le cadre de Nouvelle France industrielle, intitulé « territoires hydrogène ». À l'été

2019, 29 projets avaient ainsi bénéficié d'un soutien des finances publiques dans la réalisation de leurs projets ;

- en 2018, le plan hydrogène a permis la réalisation de deux AAP lancés par l'Ademe. Le premier, « écosystèmes de mobilité hydrogène », lancé en octobre 2018, a retenu 21 dossiers pour un total de 100 millions d'euros. Le second, « production et fourniture d'hydrogène décarboné pour les consommateurs industriels », lancé en février 2019, a retenu cinq projets pour un total de 11 millions d'euros financés par le PIA.

Au niveau européen

Le 8 juillet 2020, la Commission européenne a présenté une stratégie sur l'hydrogène¹, s'inscrivant dans le Pacte vert pour l'Europe et le plan de relance « Next Generation EU ». Selon ce dernier, l'hydrogène est une priorité d'investissement en Europe pour stimuler la croissance économique, créer des emplois et renforcer la compétitivité. La stratégie européenne vise à développer l'hydrogène décarboné dans un effort de décarbonation de certains secteurs, et fixe trois objectifs :

- de 2020 à 2024 : capacité d'au moins 6 GW d'électrolyseurs pour la production d'hydrogène décarboné ; production jusqu'à 1 million de tonnes d'hydrogène décarboné ;
- de 2025 à 2030 : capacité d'au moins 40 GW ; production jusqu'à 10 millions de tonnes (l'hydrogène devra faire partie intégrante du système énergétique intégré de l'UE) ;
- de 2030 à 2050 : déploiement à grande échelle dans tous les secteurs difficiles à décarboner des technologies d'hydrogène décarboné, qui devraient alors avoir atteint la maturité.

Au niveau national

En septembre 2020, cette stratégie européenne a été déclinée en Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France, consacrant jusqu'à 9 milliards d'euros d'ici à 2030 dont 2 milliards sont inscrits dans le plan de relance. Ces crédits seront complétés par des apports du PIA 4. Elle a été élaborée grâce à une large consultation des porteurs de projet (entreprises, collectivités, centres de recherche) engagée sous la forme d'un « Appel à manifestation d'intérêt » (AMI) sur la conception, la production et l'usage de systèmes à hydrogène. Plus de 160 dossiers ont ainsi été déposés, permettant à l'État de comprendre les limites et les opportunités du secteur, ainsi que les besoins en soutien des acteurs. Les crédits relevant du plan de relance sont rattachés au programme 362 « Écologie » de la mission « plan de relance » dans la loi de finances

¹ Commission européenne (2020), *Une stratégie de l'hydrogène pour une Europe climatiquement neutre*, juillet.

2021. Pour la première phase de sa stratégie (2020-2023), l'État a prévu d'allouer 3,4 milliards d'euros aux trois priorités d'investissement qu'il a distinguées :

- la décarbonation de l'industrie en faisant émerger une filière française de l'électrolyse (54 % des montants alloués sur la période) ;
- le développement d'une mobilité lourde à l'hydrogène décarboné (27 %) ;
- le soutien à la recherche, à l'innovation et au développement de compétences afin de favoriser les usages de demain (19 %).

Encadré 2 – La Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France

La Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France fixe trois objectifs d'ici à 2030 :

- disposer de 6,5 GW de capacité installée d'électrolyseur, soit une production annuelle de 600 kilotonnes d'hydrogène décarboné ;
- économiser plus de 6 millions de tonnes de CO₂ grâce au développement des mobilités propres, en particulier pour les véhicules lourds ;
- construire une filière industrielle stratégique, créatrice d'emplois et garante de la maîtrise technologique nationale, en créant entre 50 000 et 150 000 emplois directs et indirects sur le territoire.

Ces trois objectifs se déclinent en trois priorités :

- décarboner l'industrie en développant suffisamment une filière française de l'électrolyse ;
- développer une mobilité lourde à l'hydrogène décarboné ;
- soutenir la recherche, l'innovation et le développement de compétences afin de favoriser les usages de demain.

La stratégie nationale prévoit un soutien de l'État à la fois sur l'offre et la demande, dont la synchronisation doit permettre d'assurer la souveraineté nationale sur les principales technologies. L'État soutiendra notamment :

- la R & D permettant de développer des technologies plus performantes pour l'ensemble des usages de l'hydrogène ;
- les premières commerciales et l'industrialisation qui combine une approche européenne et nationale ;
- le déploiement à travers la mise en place de mécanismes de soutien.

2. Quatre dispositifs cofinancés par France Relance

2.1. Descriptif des dispositifs et mise en œuvre

Deux appels à projets pilotés par l'Ademe

L'AAP « **Écosystèmes territoriaux hydrogène** » a été publié en 2018, puis reconduit une première fois en 2020. Cette deuxième phase est dotée d'une enveloppe de 275 millions d'euros pour la période 2021-2023, dont 88 millions inscrits dans France Relance. L'AAP finance le déploiement d'infrastructures de production et de distribution d'hydrogène décarboné, en particulier dans les secteurs industriels où l'hydrogène sert déjà de matière première (chimie, métallurgie, électronique), et dans les transports pour lesquels le recours à l'hydrogène se développe (véhicules terrestres et maritimes). Il peut également financer des projets d'applications stationnaires s'appuyant sur des groupes électrogènes contenant un système de pile à hydrogène.

L'AAP poursuit un double objectif. Il vise d'abord à réduire l'impact des secteurs de l'industrie et de la mobilité sur le changement climatique, à améliorer la qualité de l'air et à promouvoir l'utilisation des ressources renouvelables dans les usages finaux. Il cherche également à développer des plateformes de production et de consommation d'hydrogène de taille suffisante pour baisser les coûts et se rapprocher des seuils de rentabilité.

La grille d'évaluation des projets candidats comprend cinq critères principaux : leur intégration dans une stratégie globale de transition écologique (1. Performance environnementale) ; l'adéquation de la description des besoins couverts par la solution hydrogène, et la justification du recours à cette dernière (2. Justification de l'usage) ; la qualité des acteurs associés au projet (3. Qualité du consortium) ; leur contribution à la structuration de la filière française et leur potentiel de réplication (4. Effet structurant pour la filière) ; et l'aide demandée rapportée au volume distribué (€/kgH₂) et aux émissions évitées (€/tCO₂) (5. Efficacité de l'aide publique).

L'aide apportée par l'AAP est une subvention aux investissements. Pour les infrastructures de production et de distribution, elle couvre 25 % à 45 % des surcoûts, auxquels peuvent s'ajouter 10 % si le vecteur énergétique intègre des énergies renouvelables. Les surcoûts des usages en mobilité et des applications stationnaires sont quant à eux pris en charge jusqu'à 35 % à 55 % des surcoûts.

Tableau 1 – Synthèse de l'AAP « Écosystèmes territoriaux hydrogène »

AAP « Écosystèmes territoriaux hydrogène »	
Période de dépôt des dossiers	De fin 2020 au 14 septembre 2021 ⁽¹⁾ (Dates de clôture : 17 décembre 2020, 16 mars 2021 et 14 septembre 2021)
Objectifs des projets	Dans le cadre d'écosystèmes territoriaux, de développement de la production et de la distribution d'hydrogène, ainsi que les différents usages de cette énergie (application dans l'industrie, la mobilité, etc.)
Bénéficiaires cibles	Maîtres d'ouvrage (collectivités et entreprises)
Critères d'éligibilité du projet	<ul style="list-style-type: none"> • Production d'hydrogène par électrolyse uniquement • Seuils : pour les infrastructures de production > 1 MWé⁽²⁾ ; pour les extensions d'écosystèmes + 30 tonnes/an • 50 % minimum de la capacité de la production devra être couverte par des usages justifiés : les consommations des utilisateurs doivent être identifiées et confirmées (industrie ou mobilité ou stationnaire)
Critères de sélection	Dimension environnementale ; justification des usages ; qualité du consortium ; effet structurant pour la filière ; efficacité de l'aide publique
Nature des aides	<ul style="list-style-type: none"> • 25 % à 45 % des surcoûts pour la production/distribution, une majoration de 10 % si l'électricité utilisée pour la production d'hydrogène est issue d'énergie renouvelable⁽³⁾ • 35 % à 55 % des surcoûts pour les usages mobilité et stationnaire

⁽¹⁾ L'AAP a été reconduit dans le cadre de France 2030 jusqu'au 29 septembre 2023.

⁽²⁾ MWé : Mégawatt électrique.

⁽³⁾ Pour être considérée comme renouvelable, l'électricité devra être issue d'une installation de production (PV, éolien, hydraulique, etc.) à laquelle l'électrolyseur est physiquement connecté, ou achetée directement à un producteur via un contrat d'achat long terme, avec achat conjoint de garanties d'origine provenant de la même technologie de production renouvelable et de la même région que le moyen de production.

Source : Ademe, cahier des charges de l'AAP « Écosystèmes territoriaux hydrogène »

L'AAP « Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène » est doté d'une enveloppe de 350 millions d'euros financée par le PIA. Publié en 2020, son articulation est double. D'une part, il vise à soutenir des travaux de développement ou d'amélioration des composants et des systèmes liés à la production d'hydrogène, à son transport et à ses usages (volet « Briques technologiques »). D'autre part, il finance des projets de démonstrateurs, de pilotes ou de premières commerciales sur le territoire national, pour développer et structurer la filière (volet « Démonstrateurs »). Les projets soutenus doivent s'inscrire dans l'un des quatre axes retenus par l'AAP :

- axe 1 – « Briques technologiques : composants et systèmes innovants » : les projets portent sur l'un des maillons de la chaîne technologique de l'hydrogène, pour des applications dans l'industrie, les transports, l'énergie, ou les réseaux ;
- axe 2 – « Pilotes (ou premières commerciales) innovants industriels et réseaux, fourniture temporaire ou localisée d'énergie » : les projets portent sur la décarbonation de l'industrie, les innovations ayant trait au « power-to-gaz », la fourniture d'électricité décentralisée ;

- axe 3 – « Conception et démonstration de nouveaux véhicules » : les projets portent sur le développement de nouveaux véhicules ou de leurs équipements (réservoir, pile à combustible, etc.) ;
- axe 4 – « Grands démonstrateurs d'électrolyse » : les projets portent sur le développement de démonstrateurs d'électrolyse de grande envergure (puissance supérieure à 20 mégawatts (MW)).

La grille d'évaluation des projets candidats comprend sept critères principaux : le montage du projet (gouvernance, planning, risques, coûts) ; le consortium (pertinence et complémentarité du partenariat) ; le plan de financement (description, équilibrage, incitativité de l'aide) ; l'innovation (technologique, économique, organisationnelle, systémique ou juridique) ; l'écoconditionnalité ; la répliquabilité de la solution (caractère généralisable) ; la pertinence du modèle d'affaires (accès aux marchés, description) ; les impacts socioéconomiques (emplois, bénéfiques directs et indirects, structuration de la filière). Le coût total du projet doit être au minimum de 2 millions d'euros pour les trois premiers axes et de 5 millions d'euros pour l'axe 4. L'aide prend la forme d'avances remboursables ou de subvention en fonction du projet et de la taille de l'entreprise.

**Tableau 2 – Synthèse des éléments structurant l'AAP
 « Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène »**

AAP « Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène »	
Dépôt des dossiers	Avant le 31 décembre 2022*
Objectifs des projets	<ul style="list-style-type: none"> • Soutenir l'innovation • Développer ou améliorer les composants et systèmes liés à la production et au transport d'hydrogène et à ses usages tels que les applications de transport ou de fourniture d'énergie • Soutenir des projets de démonstrateurs, de pilotes ou de premières commerciales sur le territoire national, permettant à la filière de développer de nouvelles solutions et de se structurer
Bénéficiaires cibles	Entreprises seules ou en collaboration, notamment avec des laboratoires de recherche
Critères d'éligibilité	<ul style="list-style-type: none"> • Coût du projet (minimum) : 2 millions d'euros pour les axes 1, 2 et 3 ; 5 millions d'euros pour l'axe 4 • Entreprises non qualifiées d'« entreprise en difficulté »
Critères de sélection	Montage du projet ; consortium ; plan de financement ; innovation ; écoconditionnalité ; répliquabilité de la solution ; pertinence du modèle d'affaires ; impacts socioéconomiques
Nature des aides	Combinaison de subventions et d'avances remboursables, dépendante de la nature du projet et de la taille de l'entreprise

* L'AAP a été reconduit pour la période 2023-2024. Il est ouvert jusqu'au 19 décembre 2024 et comporte trois clôtures intermédiaires.

Source : Ademe, cahier des charges de l'AAP « Briques et démonstrateurs hydrogène »

Le mécanisme de soutien à la production d'hydrogène décarboné

Prévus pour l'année 2022, 650 millions d'euros doivent être déployés par complément de rémunération dans le cadre d'un appel d'offres pour augmenter la production d'hydrogène bas carbone. L'objectif est de compenser le surcoût de l'hydrogène produit par électrolyse par rapport à l'hydrogène fossile. Ce différentiel étant principalement lié au coût de l'électricité, il ne peut pas être comblé par une simple aide à l'investissement. Ce mécanisme soutient des projets visant à décarboner l'industrie ou les usages de mobilité lourde.

Les modalités détaillées du mécanisme restent à définir, mais le principe en est déjà acté dans l'ordonnance relative à l'hydrogène qui est prise en application de l'article 52 de la loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat. Dans le cadre du projet de loi de finances rectificative (PLFR) n° 1 pour 2021, le déport hors de la mission relance des dépenses liées au mécanisme de soutien au fonctionnement hydrogène (650 millions d'euros), qui n'ont pas vocation à faire l'objet de décaissements avant fin 2022, est arbitré.

Le PIIEC « Hy2Tech »

Le 15 juillet 2022, la Commission européenne a validé un projet important d'intérêt européen commun (PIIEC) baptisé « Hy2Tech », initié par la France et l'Allemagne et autorisant les États membres à soutenir des projets relatifs à la molécule hydrogène. Élaboré et notifié conjointement par quinze États membres (Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Italie, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Slovaquie et Tchéquie), Hy2Tech vise à soutenir la recherche, le développement et l'industrialisation dans l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène. Dans ce contexte, les aides publiques pourront atteindre jusqu'à 5,4 milliards d'euros, auxquels devraient s'ajouter quelque 8,8 milliards d'investissements privés. L'enveloppe française s'élève à 1,575 milliard d'euros, dont 1,275 octroyés au titre du plan France Relance et 0,3 par le PIA 4.

La Commission européenne a motivé la mise en place du PIIEC par plusieurs raisons. Premièrement, il soutient une chaîne de valeur stratégique cruciale pour l'avenir de l'Europe en donnant corps à des améliorations majeures en matière de performances, de sécurité, d'impact environnemental, et de rapport coût-efficacité. Le projet s'aligne également sur certaines initiatives clés de l'UE (stratégie pour l'hydrogène, Pacte vert, RePowerEU). De plus, en raison des risques technologiques et financiers importants, les entreprises pourraient renoncer à s'engager dans de tels projets en l'absence d'un soutien public aux entreprises. En outre, les résultats ayant vocation à être partagés au-delà des entreprises et des pays concernés par le PIIEC, ils créeront des effets d'entraînement positifs à travers le continent. Enfin, les aides sont proportionnées aux besoins des entreprises qui, en cas de succès, restitueront une partie de l'aide reçue par mécanisme de récupération.

Encadré 3 – Poids de l'hydrogène décarboné ou bas carbone dans la stratégie des pays européens

À l'exception du Royaume-Uni dont la stratégie nationale pour l'hydrogène publiée en août 2023 prévoit des investissements à long terme seulement, la France, l'Allemagne, l'Italie, l'Espagne ont toutes prévu des investissements à court terme dans ce secteur.

L'Allemagne a prévu d'investir près de 9 milliards d'euros dans l'hydrogène décarboné, soit environ 7 % du montant de son plan de relance. Le pays s'est doté d'une stratégie nationale pour l'hydrogène, pour l'instant financée par les 9 milliards d'euros du plan de relance, et visant à disposer d'une capacité de production d'hydrogène décarboné de 5 GW en 2030 et de 10 GW en 2040.

La France n'y a consacré que 2 % de son plan, mais a prévu un investissement supplémentaire de 5,2 milliards d'euros (hors France Relance) d'ici à 2030, dans le cadre de sa stratégie nationale. En termes de PIB, l'effort est donc comparable entre les deux pays.

L'Espagne a consacré 1,6 milliard d'euros à l'hydrogène décarboné, soit environ 1 % des 140 milliards prévus dans son plan de relance. Le pays s'est également doté d'une feuille de route sur l'hydrogène, fixant pour objectif de disposer de 4 GW de puissance installée d'électrolyseurs en 2030 grâce à un investissement total de 8,9 milliards d'euros (public et privé sans distinction). En termes de PIB, l'effort consenti par l'Espagne est proche de celui de la France et de l'Allemagne.

L'Italie a alloué 3,6 milliards d'euros au vecteur énergétique, soit environ 2 % des 191 milliards inscrits dans son plan de relance. Le pays a notamment consacré 2 milliards d'euros pour développer le recours à l'hydrogène décarboné dans les industries difficiles à électrifier (principalement à destination des aciéries et raffineries), ainsi que 450 millions à la production industrielle d'électrolyseurs. Le pays ne dispose en revanche pas encore d'une stratégie nationale détaillée, au-delà des objectifs fixés et des montants mobilisés dans le cadre de son plan de relance.

Le Royaume-Uni s'est doté d'une stratégie nationale pour l'hydrogène, prévoyant 4 milliards de livres (4,7 milliards d'euros) de co-investissements publics-privés d'ici à 2030. En termes de PIB, sa cible est donc moins ambitieuse que celle de l'Allemagne, de la France ou de l'Espagne, et se rapproche de celle de l'Italie.

2.2. Objectifs et impacts attendus

Les quatre dispositifs répondent aux objectifs de la stratégie nationale

Les dispositifs financés par France Relance s'inscrivent dans la Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France. Pour rappel, celle-ci est articulée autour de trois grands axes : la décarbonation de l'industrie par l'électrolyse (axe 1), le développement d'une mobilité lourde à hydrogène décarboné (axe 2), et le soutien à la R & D, à l'innovation et au développement des compétences en lien avec les différents usages de l'hydrogène décarboné (axe 3).

Chaque axe est associé à différents dispositifs qui contribuent à atteindre les objectifs définis par la stratégie nationale pour l'année 2030 : une capacité de production d'hydrogène décarboné installée de 6,5 GW (objectif de l'axe 1), une économie de 6 millions d'euros de CO₂ (objectif de l'axe 2), la création d'entre 50 000 et 150 000 emplois directs et indirects dans la filière en France (objectif de l'axe 3). Le PIIEC et le mécanisme de soutien à la production d'hydrogène décarboné relèvent de l'axe 1, tandis que les deux AAP sont reliés à l'axe 2.

Ces quatre dispositifs répondent ainsi aux différents enjeux soulevés par la stratégie nationale :

- enjeux environnementaux : décarbonation de l'industrie et des transports, amélioration de la qualité de l'air grâce aux nouvelles mobilités ;
- enjeux économiques : développement d'une filière industrielle stratégique et génératrice d'entre 50 000 et 150 000 emplois directs et indirects en France, développement des compétences ;
- enjeux de souveraineté énergétique : réduction de la dépendance nationale vis-à-vis des importations d'hydrocarbures ;
- enjeux d'indépendance technologique : valorisation des atouts dont dispose la France dans la compétition mondiale.

D'autres dispositifs participent à l'atteinte des objectifs fixés par la stratégie nationale, mais ne sont pas financés par France Relance (voir Tableau 3).

Tableau 3 – Axes, dispositifs et objectifs de la Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France

Axes	Dispositifs	Objectifs 2030
Axe 1 : décarbonation de l'industrie grâce à l'électrolyse	<ul style="list-style-type: none"> • PIIEC • Mécanisme de soutien à la production d'H₂ décarboné • Mécanisme de soutien aux projets de verdissement de l'hydrogène dans le secteur du raffinage • Mécanisme de garanties d'origine permettant de valoriser l'hydrogène décarboné par rapport à l'hydrogène fossile 	Installation d'une capacité de production d'hydrogène décarboné de 6,5 GW
Axe 2 : développement d'une mobilité lourde à hydrogène décarboné	<ul style="list-style-type: none"> • AAP « Briques technologiques et démonstrateurs » • AAP « Écosystèmes territoriaux H₂ » 	Économiser 6 Mt de CO ₂
Soutien à la R & D, innovation et développement des compétences en lien avec les différents usages de l'hydrogène décarboné	<ul style="list-style-type: none"> • Programme prioritaire de recherche (PPR) « applications de l'H₂ » opéré par l'ANR • Accompagnement du développement de campus des métiers et des qualifications 	Créer entre 50 000 et 150 000 emplois directs et indirects dans la filière

Lecture : les dispositifs relevant du plan de relance sont en caractères gras.

Source : Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné en France

Le PNRR affiche également les objectifs quantitatifs de la combinaison de deux des trois dispositifs financés par le plan de relance, l'AAP « Écosystèmes territoriaux hydrogène » et le mécanisme de soutien (voir Tableau 4).

Tableau 4 – Objectifs et cibles quantitatives des projets hydrogène financés par France Relance

Indicateurs	Cible intermédiaire (2023)	Cible finale (2026)
1 – Capacité de production annuelle d'électrolyseurs installée		Installation d'au moins 140 MW/an en cumulé
2 – Volume d'hydrogène soutenu par le mécanisme de soutien et l'AAP « Écosystèmes territoriaux hydrogène »	12 000 tonnes en cumulé	100 000 tonnes en cumulé

Source : PNRR

Les aides prévues par France 2030 et le mécanisme de soutien sont dans la continuité de celles de France Relance

Le développement de l'hydrogène décarboné s'inscrit dans le long terme et vise à faire de la France le leader mondial de l'hydrogène décarboné. Aussi, les dispositifs financés par France Relance sont en lien avec ceux du PIA 4 et du plan France 2030.

La transition écologique regroupe 38 % des moyens financiers de France 2030. Ce plan intègre les enjeux d'approvisionnement, de capital humain, d'industrialisation et de passage à grande échelle des produits, équipements ou services ayant fait la preuve de leur intérêt pour l'économie française. France 2030 consacre ainsi 1,9 milliard d'euros à la filière de l'hydrogène décarboné et ambitionne de disposer, d'ici à 2030, d'au moins quatre giga-usines d'électrolyseurs et de l'ensemble des technologies nécessaires à l'utilisation de l'hydrogène. L'AAP « Écosystèmes territoriaux hydrogène » a ainsi été relancé dans le cadre de France 2030, avec une enveloppe de 175 millions d'euros. France 2030 a également alloué 80 millions au projet PEPR H2. Piloté par le CNRS et le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), ce projet a pour but de soutenir la recherche et le développement en explorant des voies nouvelles couvrant la production, le stockage, le transport et l'utilisation de l'hydrogène décarboné, et pouvant conduire à des innovations de rupture.

En octobre 2023, le gouvernement français a également annoncé un mécanisme de soutien à la production d'hydrogène bas carbone et renouvelable doté de 4 milliards d'euros. L'objectif est de soutenir l'installation de 1 GW d'électrolyseur sur les quatre prochaines années. Les porteurs de projet pourront candidater soit à une aide au fonctionnement, soit à une aide financière à l'investissement doublée d'une aide au fonctionnement.

3. Les premiers résultats

Les écosystèmes hydrogène sont des projets d'investissement conséquents, qui se déroulent en plusieurs étapes : études techniques en amont, montage juridique du partenariat et du plan de financement, autorisations administratives, terrassement et génie civil, appels d'offres publics et commandes des matériels, réception et tests avant la mise en exploitation des installations et des véhicules. Une durée minimale de deux ans est observée entre le bouclage du financement du projet incluant le soutien des opérateurs, et l'inauguration des installations.

3.1. Le PIIEC hydrogène

En Europe, quarante-et-un projets couvrant l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène ont été sélectionnés dans le cadre du PIIEC. Portés par trente-cinq

entreprises, dont dix françaises, ils devraient créer 100 000 emplois en Europe et 5 200 sur le territoire français d'ici à 2030. Dans l'Hexagone, dix projets ont été retenus, dont la construction de sept giga-usines destinées à la production d'hydrogène, de piles à combustible, de réservoirs, de véhicules et de matériaux. Le plan France Relance cofinance les sept projets de giga-usines menés par Air Liquide, Alstom France, Elogen, John Cockerill, McPhy, Plastic Omnium New Energies et Symbio (voir Tableau 5).

Deux autres projets français ont été présentés dans le cadre d'un deuxième PIIEC consacré à l'hydrogène, validé par la Commission européenne courant septembre 2022. Une dizaine d'autres projets centrés sur les infrastructures de production et la mobilité hydrogène français sont également en lice pour une troisième et une quatrième vague, et dix-huit projets sont encore en cours d'instruction.

Tableau 5 – Les projets soutenus par le plan France Relance dans le cadre du PIIEC

Porteurs	Description	Coût total (M€)	Aide FR (M€)	Région	Dimensionnement
Air Liquide	Électrolyseur (industrie et mobilité)	344	190	Normandie	200 MW
Alstom	Brique à hydrogène Locomotive à hydrogène Wagon générateur à pile à combustible hydrogène	252	40	Bourgogne-Franche-Comté, Occitanie, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Île-de-France	N/A
Elogen	Électrolyseur PEM	120	86	Centre-Val de Loire	1 GW
John Cockerill	Électrolyseur alcalin (industrie, mobilité, énergie)	317	98	Grand Est	5 MW
McPhy	Électrolyseur alcalin (industrie, mobilité, énergie)	120	114	Bourgogne-Franche-Comté	1,3 GW
Plastic Omnium	Réservoir à hydrogène	317	74	Hauts-de-France	80 000 unités /an
Symbio	Pile à combustible	893	669	Auvergne-Rhône-Alpes	50 000 systèmes /an

Source : Direction générale des entreprises ; tableau France Stratégie

Parmi les sept entreprises soutenues, quatre sont de grandes entreprises (GE), une est une petite entreprise, une est de taille moyenne et une autre est de taille intermédiaire (ETI) (voir Graphique 1). Cette dernière a reçu plus de la moitié de l'aide totale prévue pour les sept projets, soit 669 millions d'euros, tandis que les 4 GE se sont partagé un tiers de l'aide, soit 402 millions d'euros. La petite et la moyenne entreprise ont quant à elles bénéficié de 16 % de l'aide, soit 200 millions d'euros.

Graphique 1 – Répartition de l'aide par type d'acteurs

a) Répartition des bénéficiaires par type d'acteurs



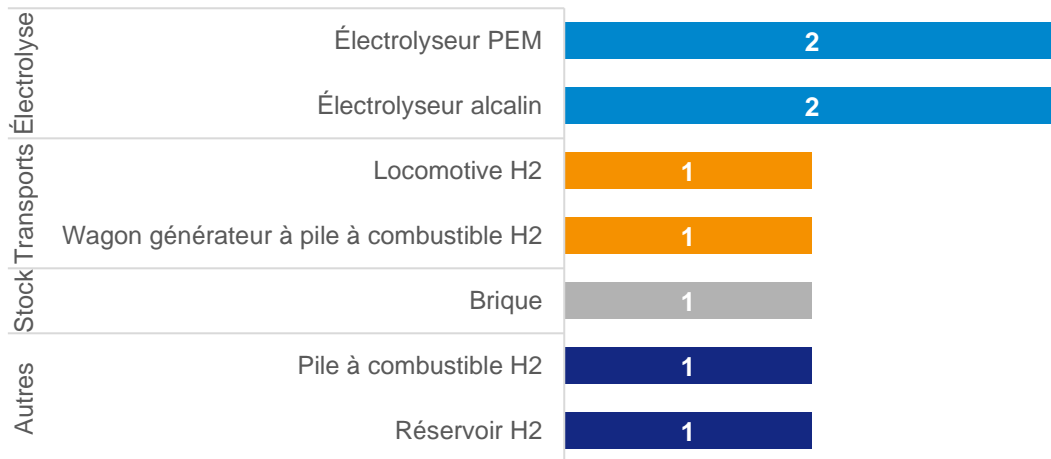
b) Répartition de l'aide globale octroyée par type d'acteurs



Source : Direction générale des entreprises ; calculs France Stratégie

Les projets soutenus correspondent à sept thématiques différentes pouvant être réparties en quatre catégories : la production d'électrolyse, la mobilité hydrogène, le stockage d'hydrogène, et les autres produits (piles à combustible et réservoirs). Il convient de noter que le projet d'Alstom étant triplement articulé (locomotive, wagon, brique), il a été comptabilisé trois fois dans le graphique ci-dessous.

Graphique 2 – Répartition des projets sélectionnés par thématique



Source : France Stratégie

Air Liquide

Le plan France Relance octroie 190 millions d'euros à Air Liquide pour la construction d'une nouvelle usine d'hydrogène par électrolyse, alimentée par les énergies vertes. Baptisé Normand'Hy, le projet est porté en partenariat avec Siemens et aura une capacité de production initiale de 200 MW, soit, en supposant un fonctionnement en continu toute l'année, une consommation électrique équivalente à celle de 235 000 foyers français.

Construit à deux kilomètres de son site de Port-Jérôme-sur-Seine (Normandie), l'électrolyseur d'Air Liquide produira annuellement 28 000 tonnes d'hydrogène décarboné à partir de 2025. Chaque année, il réduira de 220 000 tonnes les émissions de CO₂ du site, et évitera la consommation de 50 000 tonnes de gaz naturel.

Fondé en 1902, Air Liquide est l'un des principaux acteurs mondiaux des gaz industriels. L'entreprise fait partie de l'indice CAC 40 depuis la création de ce dernier en 1987, et emploie 67 000 personnes à travers 73 pays. Réalisant un chiffre d'affaires de près de 30 milliards d'euros en 2022, Air Liquide est le deuxième groupe mondial de son secteur, derrière l'entreprise américano-allemande Linde.

Alstom France

Grâce à une aide de l'État de 252 millions d'euros, dont 40,2 attribués dans le cadre du plan France Relance, Alstom France entend développer des briques à hydrogène, une locomotive de manœuvre à hydrogène, et enfin un wagon générateur à pile à combustible hydrogène à destination du fret. L'enveloppe sera ainsi partagée entre quatre des douze sites français d'Alstom : Belfort (Bourgogne-Franche-Comté), Tarbes (Occitanie), Aix-en-Provence (Provence-Alpes-Côte d'Azur) et Saint-Ouen (Île-de-France).

Présente sur 250 sites répartis à travers 63 pays, Alstom est une multinationale française spécialisée dans la mobilité. L'entreprise fournit principalement du matériel roulant (locomotives, trains à grande vitesse, métros, monorails, trams, etc.), des services sur mesure, de la signalisation, de l'infrastructure, des composants et des solutions digitales de mobilité. Comptant plus de 80 000 collaborateurs et 10 000 brevets déposés, Alstom réalise un chiffre d'affaires de 16,5 milliards d'euros et enregistre 20,7 milliards d'euros de commandes sur l'exercice 2021-2022. Le projet soutenu par l'État s'inscrit dans le développement des solutions de mobilité durable d'Alstom, qui propose déjà une large palette de produits pour les applications à hydrogène.

Elogen

Financé à hauteur de 86 millions d'euros par le plan France Relance, le projet de la start-up française Elogen est doublement articulé. D'une part, il s'agit de soutenir sa R & D pour développer des stacks innovants d'électrolyseurs à membranes échangeuses de protons (PEM) ainsi que leurs composants. D'autre part, Elogen promet la construction et la mise en service d'une nouvelle usine à Vendôme (Centre-Val de Loire) pour assurer la production automatisée de ces stacks. Construite sur un terrain de neuf hectares au cœur de la zone d'activités de la gare TGV, cette giga-usine de 20 000 mètres carrés devrait accueillir une cinquantaine de salariés et produire des stacks dès 2025, ciblant une capacité de 1 GW par an. Le service R & D et l'unique usine actuelle d'Elogen resteront quant à eux actifs en Île-de-France.

Propriété de l'ingénieur gazier GTT depuis 2020, la start-up Elogen est le leader français de l'électrolyse PEM. Ses technologies de conception et d'assemblage d'électrolyseurs PEM produisent de l'hydrogène à destination des transports, de l'industrie et du stockage d'énergie. Le siège d'Elogen et son unique ligne de production sont réunis sur un site de 2 300 mètres carrés aux Ulis (Île-de-France), où l'entreprise produit 160 MW d'électrolyseurs par an.

John Cockerill

Le plan France Relance attribue 98 millions d'euros à l'industriel John Cockerill pour un projet de R & D et de giga-usines. Le groupe entend développer des électrolyseurs alcalins de grande capacité (5 à 30 MW dans un premier temps) et les fabriquer de manière industrielle via deux nouvelles lignes de production, l'une en France et l'autre en Belgique. Le site français, situé à Aspach-Michelbach, en Alsace, se consacrera à la fabrication individuelle des cellules d'électrolyse (découpe, soudure, nickelage), tandis que l'usine belge assurera l'empilage des pièces produites dans la région Grand Est. Déjà présent à Aspach-Michelbach, John Cockerill prévoit de transformer son site actuel en giga-usine grâce à une extension de 2 000 mètres carrés. Cette nouvelle unité de 6 000 mètres carrés produira 23 000 cellules d'électrolyse par an, et emploiera une centaine de salariés supplémentaire. Au total, le projet devrait créer 340 emplois directs et 1 000 emplois indirects en France et en Belgique.

Fort de plus de 6 500 salariés, le groupe privé indépendant John Cockerill est actif dans les secteurs de l'énergie, de l'armement, de la sidérurgie, de l'environnement et de l'industrie. Fondé en 1817, l'entreprise est rachetée par un industriel français en 2002 et réalise un chiffre d'affaires de 1,046 milliard d'euros en 2022. John Cockerill est le leader mondial de l'électrolyse alcaline, représentant un tiers des 458 MW installés en 2021. Cette même année, son chiffre d'affaires lié à cette technologie a été multiplié par trois. Présent dans vingt-quatre pays, sur cinq continents, l'acteur mondial de la transition énergétique assoit sa présence au sein de la filière européenne de l'hydrogène en participant aux travaux de France Hydrogène et au développement de projets innovants (Columbus, Hyoffwind, HaYrport, Écomobilité à Metz, etc.).

McPhy Energy

Avec 114 millions d'euros apportés par le plan France Relance, l'entreprise française McPhy Energy matérialisera un effort de R & D et d'industrialisation à grande échelle d'électrolyseurs alcalins de nouvelle génération. Dès 2024, une nouvelle giga-usine de 20 000 mètres carrés à Belfort (Bourgogne-Franche-Comté) assurera le développement et la production d'électrolyseurs multi-MW. La capacité annuelle totale de production de McPhy Energy sera ainsi portée à 1,3 GW/an, répartie entre son site de Belfort (1 GW/an, à terme) et celui de San Miniato, consacré aux électrolyseurs à capacité maximale de 1 MW.

Fondée en 2008, McPhy Energy est une entreprise spécialisée dans la production et la distribution d'hydrogène, à destination des secteurs de l'industrie, de l'énergie et de la mobilité. Forte d'un modèle économique fondé sur la vente d'électrolyseurs et de stations de recharge, McPhy Energy compte 205 salariés et réalise un chiffre d'affaires de 16,1 millions d'euros en 2022. Son carnet de commandes est en forte croissance, et atteint près de 30 millions d'euros sur l'exercice 2022. Déjà présente en France (Grenoble, Paris), en Allemagne (Wildau) et en Italie (San Miniato), McPhy Energy comptera un cinquième site avec la construction de l'usine à Belfort.

Plastic Omnium

Le groupe Plastic Omnium bénéficie de 74 millions d'euros dans le cadre du plan France Relance pour une double entreprise de recherche et de construction d'une giga-usine. Située à Compiègne (Hauts-de-France), cette nouvelle usine assurera le développement et l'industrialisation de réservoirs à hydrogène haute pression à destination de la mobilité. Il s'agira de la plus grande usine de réservoirs à hydrogène en Europe, employant 200 personnes et pouvant produire 80 000 unités par an dès 2025. En parallèle de ce chantier, dont l'investissement total est d'environ 160 millions d'euros, Plastic Omnium entend poursuivre ses travaux de R & D relatifs à l'hydrogène dans son centre de recherche α -Alphatech. L'entreprise et ses partenaires industriels doivent notamment développer des solutions pour recycler des matériaux nécessaires à la fabrication des réservoirs.

Créé en 1946, Plastic Omnium est un groupe industriel français développant et produisant des pièces et modules de carrosserie et des systèmes d'énergie propre pour les automobiles. Employant plus de 40 000 personnes, le groupe possède 150 usines et 43 centres de R & D, répartis dans vingt-huit pays sur cinq continents. En 2022, il réalise un chiffre d'affaires de 9 477 milliards d'euros, en forte progression par rapport à l'exercice 2021. Ayant investi 200 millions d'euros depuis 2015 pour accroître son expertise sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène, Plastic Omnium est devenu particulièrement innovant en matière de stockage d'hydrogène, de piles à combustible et de systèmes intégrés.

Symbio

Coentreprise française entre Michelin et Faurecia, Symbio obtient 669 millions d'euros engagés par le plan France Relance pour démultiplier sa capacité d'innovation et de production. Au cœur de la Vallée de la chimie, à Saint-Fons (Auvergne-Rhône-Alpes), Symbio construit ainsi un nouveau site de 25 000 mètres carrés, abritant son siège social (4 000 mètres carrés), son centre de recherche et développement (4 500 mètres carrés), une ligne de production (9 000 mètres carrés), ainsi que la Symbio Hydrogène Académie et un incubateur de start-ups dédié à l'hydrogène vert. Baptisée SymphonHy, cette

nouvelle giga-usine assurera, dès la fin de 2023, la production de masse de piles à combustible, ainsi que le développement d'un nouveau système de piles moins coûteuses et plus performantes. Avec une capacité de production de 50 000 systèmes par an, SymphonHy sera l'un des principaux sites de production de systèmes de piles à combustible hydrogène en Europe.

Fondée en 2010 à Vénissieux, Symbio est spécialisée dans les systèmes hydrogène destinés aux transports. Forte de 300 brevets et de 400 collaborateurs, la coentreprise développe, produit et commercialise ses propres systèmes pré-validés et pré-intégrés (StackPacks). Les véhicules qu'elle a ainsi équipés auraient parcouru plus de 4 millions de kilomètres au total. Présent dans cinq pays à travers trois continents, l'équipementier a également créé la première initiative de formation aux emplois de la filière hydrogène en France : la Symbio Hydrogène Académie.

3.2. L'AAP « Écosystèmes territoriaux hydrogène »

Parmi les lauréats de l'AAP « Écosystèmes territoriaux hydrogène », six bénéficient d'un financement du plan France Relance (voir Tableau 6). Selon l'Ademe, la durée de réalisation des projets est relativement longue, *a minima* vingt-quatre mois, compte tenu des étapes d'ingénierie, d'appels d'offres internes, de commandes et de travaux. Le coût total de ces six projets est de 250 millions d'euros, parmi lesquels 69 millions sont financés au titre du plan France Relance. Ils permettront d'éviter l'émission de 22 000 tonnes de CO₂ par an (sur les quinze prochaines années), et doivent permettre la production de 1 689 tonnes d'hydrogène par an.

Tableau 6 – Les projets soutenus par le plan France Relance dans le cadre de l'AAP « Écosystèmes territoriaux hydrogène »

Projet	Description	Coût total (M€)	Aide FR (M€)	Région
DépHy2A	Production, distribution, usage	25,8	13	Corse
DépHy2B	Production, distribution, usage	24,7	12,7	Corse
H24FP	Déploiement de carburant hydrogène	69	21,2	Île-de-France
HYVOO	Production, distribution	59,4	9,2	Occitanie
H2 NFC PH2	Production, distribution, usage	20,4	5,2	Bourgogne-Franche-Comté
R'HySE	Distribution, usage	51	7,7	Provence-Alpes-Côte d'Azur

Source : Ademe ; tableau France Stratégie

DépHy2A

Porté par Corsica Energia et la CCI de Corse, le projet DépHy2A prévoit la construction d'une centrale photovoltaïque de 12 MW et d'un électrolyseur de 5 MW pour produire 162 tonnes d'hydrogène par an. Située à Saint-Antoine, la centrale alimentera les navires à quai sur le port d'Ajaccio. L'électricité produite pourra également servir à chauffer ou refroidir les bâtiments autour du port, et, en cas de surplus de production en période de fort ensoleillement, à alimenter le réseau EDF en électricité renouvelable. Ainsi, 3 800 tonnes de CO₂ seront évitées par an. Avec une mise en service progressive à partir de 2025, le projet DépHy2A présente un coût de 25,8 millions d'euros, dont 13 millions financés au titre de France Relance.

DépHy2B

Le projet DépHy2B possède les mêmes caractéristiques que DépHy2A, mais est situé au port de Bastia. Située à 16 kilomètres du port, la centrale photovoltaïque est implantée sur les bassins d'eau de la carrière de la CICO, et produira 167 tonnes d'hydrogène par an pour les quais exploités quotidiennement par Corsica Linea. Sa mise en service progressive est prévue à partir de 2025. Avec un coût total porté à 24,7 millions d'euros, dont 12,7 millions apportés dans le cadre du plan France Relance, le projet permettra d'éviter l'émission de 3 000 tonnes de CO₂ par an.

H24FP

Porté par la société HysetCo, dont les actionnaires sont Air Liquide, Toyota, TotalEnergies et Kouros, le projet H24FP prévoit la construction de six stations de distribution d'hydrogène bas carbone d'une capacité de une tonne chacune par jour en Île-de-France. Deux de ces stations seront munies d'électrolyseurs assurant une production d'hydrogène décentralisée. La Mairie de Paris prévoit d'exploiter ce nouveau réseau via l'acquisition de 20 bennes à ordures, 20 engins de nettoyage rétrofités, 3 poids lourds, 120 fourgons et 20 véhicules utilitaires légers. Les stations seront progressivement mises en service à partir de 2024, et permettront d'éviter l'émission de 10 700 tonnes de CO₂ par an. Le coût total du projet s'élève à 70 millions d'euros, dont 21,2 millions subventionnés par l'État dans le cadre du plan France Relance.

HYVOO

Le projet HYVOO prévoit la construction d'une ligne de production d'hydrogène décarboné à Port-la-Nouvelle (Occitanie), destinée aux transports et aux activités portuaires et industrielles. Alimentée par un parc photovoltaïque à proximité, l'usine produira 1,9 tonne d'hydrogène par jour en 2027 à l'aide d'un électrolyseur de 10 MW. Mis en service progressivement à partir de 2024, le projet économisera 4 500 tonnes de CO₂ par an.

L'État y consacre 9,2 millions d'euros dans le cadre de France Relance, pour un coût total de 60 millions d'euros.

H2 NFC PH2

H2 NFC PH2 est la deuxième phase du projet H2 NFC qui avait permis l'installation d'un électrolyseur de 1 MW pour alimenter sept bus à hydrogène à Belfort. L'extension du projet prévoit 1 MW d'électrolyse supplémentaire et la mise en circulation d'une vingtaine de nouveaux bus à hydrogène. H2 NFC PH2 présente un budget total de 20,4 millions d'euros, dont 5,2 millions apportés par France Relance.

R'HySE

Porté par Air Liquide, le projet R'HySE vise à déployer de nouvelles infrastructures de distribution d'hydrogène décarboné dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Dès 2024, deux stations de recharge (haute capacité, haute pression, haut débit) permettront d'alimenter cinquante camions longue distance à hydrogène. Le budget total du projet s'élève à 51 millions d'euros, dont près de 27 millions apportés par France Relance.

Tableau 7 – Moyenne et nombre de projets par statut

Statut	Moyenne coût des travaux (M€)	Nombre de projets	Subvention moyenne (M€)	Somme des subventions (M€)	Coût total des travaux (M€)
Abandonné	14,5	11	N/A	N/A	160
Non retenu	33	55	N/A	N/A	1 811
Lauréat hors PR	26,2	20	6,6	135	523
Lauréat PR	41,7	6	11,5	69	250
Total lauréats	29,7	26	7,8	204	773

Source : Ademe octobre 2023 ; calculs France Stratégie

3.3. L'AAP « Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène »

Une note publiée par l'Ademe¹ dresse le bilan intermédiaire de l'AAP « Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène » pour les années 2020-2022. Sur près de soixante intentions de dépôts, vingt-six dossiers ont finalement été déposés, et dix-neuf

¹ Ademe (2023), *France 2030. Appel à projets. Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène*, Bilan intermédiaire 2020-2022, mars.

ont été retenus pour obtenir un financement PIA. Deux autres projets sont encore en cours d'analyse, quatre ont été refusés et un a été abandonné. Portés par quarante-trois structures, les dix-neuf projets retenus ont bénéficié d'une aide totale de 74,7 millions d'euros (voir Tableau 8), et représentent un coût total de 348,8 millions d'euros.

**Tableau 8 – Les projets soutenus par le PIA dans le cadre de l'AAP
« Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène »**

Projet	Thématique	Axe	Coût total (M€)	Aide PIA (M€)	Région
CapPyro H2	Pyrogazéification	2	20,2	6,8	Nouvelle-Aquitaine
CEOG	Usage stationnaire	2	171	14	Guyane
CRYO PIP LH2	Hydrogène liquide	1	3	1	Normandie
ECH2	Auxiliaire mobilité	3	6,4	3,8	Occitanie
Elementa H2⁽¹⁾	Usage stationnaire	2	17,8	3,6	Normandie
FCC GEN3	Auxiliaire mobilité	3	21,5	5,4	Grand Est
H2 BOOST	Bus électrique H2	3	11,6	2,9	Auvergne-Rhône-Alpes
H2D2	Mobilité <i>off-road</i>	3	6,7	6,4	Auvergne-Rhône-Alpes
HyMot	Moteur thermique	1	12,7	6,2	Île-de-France
HYFLAM Smart	Brûleur H2	1	1,6	0,4	Provence-Alpes-Côte d'Azur
MosaHYc	Canalisation H2	1	30,5	7,6	Grand Est
HYCEVAL	Moteur thermique	1	9	4,8	Centre-Val de Loire
OPEN POWER	Électrolyseur	1	6,7	1,7	Île-de-France
REVERSI	Électrolyseur	1	12,1	4,4	Occitanie
SAFRAH2	Bus électrique H2	3	17,3	4,8	Occitanie
Sealhyfe	Électrolyse offshore	1	3,1	1	Pays de la Loire
SMAC-FC	Auxiliaire mobilité	3	2	1,2	Provence-Alpes-Côte d'Azur
StockH2Safe	Hydrogène liquide	1	5	1,1	Provence-Alpes-Côte d'Azur
TRAXX H2	Mobilité <i>off-road</i>	3	2,6	0,7	Grand Est

Note : le tableau a été réalisé à partir des fiches lauréats publiées par l'Ademe sur sa librairie en ligne. Chaque lauréat fait l'objet d'une fiche descriptive accessible, à l'exception d'OPEN POWER.

Source : Ademe – fiches lauréats ; tableau France Stratégie

Les GE et les PME représentent respectivement la moitié et un quart des quarante-trois bénéficiaires de l'AAP. Représentant chacun 11,6 % des bénéficiaires, les EPIC et organismes de recherche ne coordonnent en revanche aucun des dix-neuf projets soutenus.

Graphique 3 – Répartition des bénéficiaires et des coordinateurs

a) Répartition des 43 bénéficiaires par type d'acteurs



b) Répartition des coordinateurs de projets par types d'acteurs



■ GE/ETI ■ PME ■ EPIC ■ Organisme de recherche

Source : Ademe – Bilan intermédiaire AAP briques technologiques et démonstrateurs hydrogène 2020-2022

Près de 70 % des aides ont été octroyées à des grandes entreprises ou des entreprises de taille intermédiaire, alors qu'elles ne représentent que la moitié des quarante-trois bénéficiaires (voir Graphique 4). En intensité, ces aides sont néanmoins plus faibles et les dépenses totales très supérieures à celles des projets portés par les autres structures (PME, EPIC, organismes de recherche).

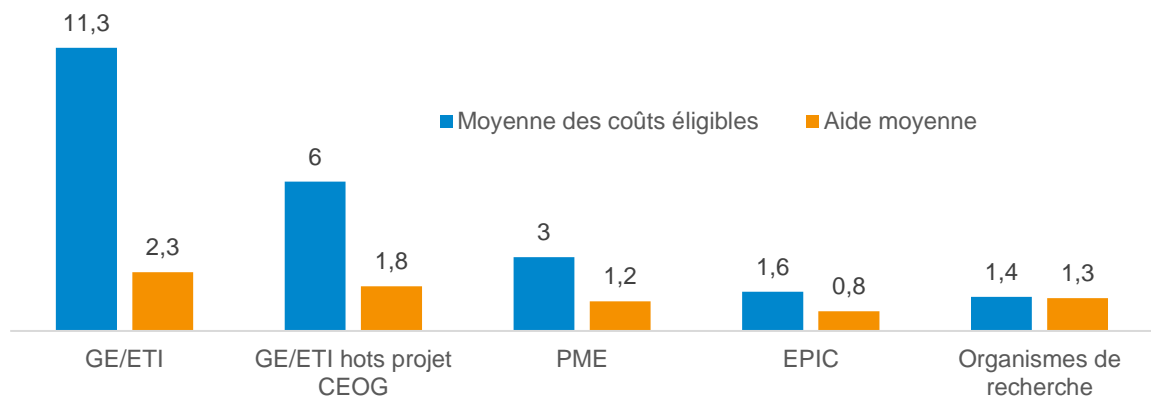
Graphique 4 – Répartition de l'aide globale octroyée par type d'acteurs



■ GE/ETI ■ PME ■ EPIC ■ Organisme de recherche

Source : Ademe – Bilan intermédiaire AAP briques technologiques et démonstrateurs hydrogène 2020-2022

Graphique 5 – Moyenne des coûts retenus et des aides octroyées par type d'acteur sélectionné

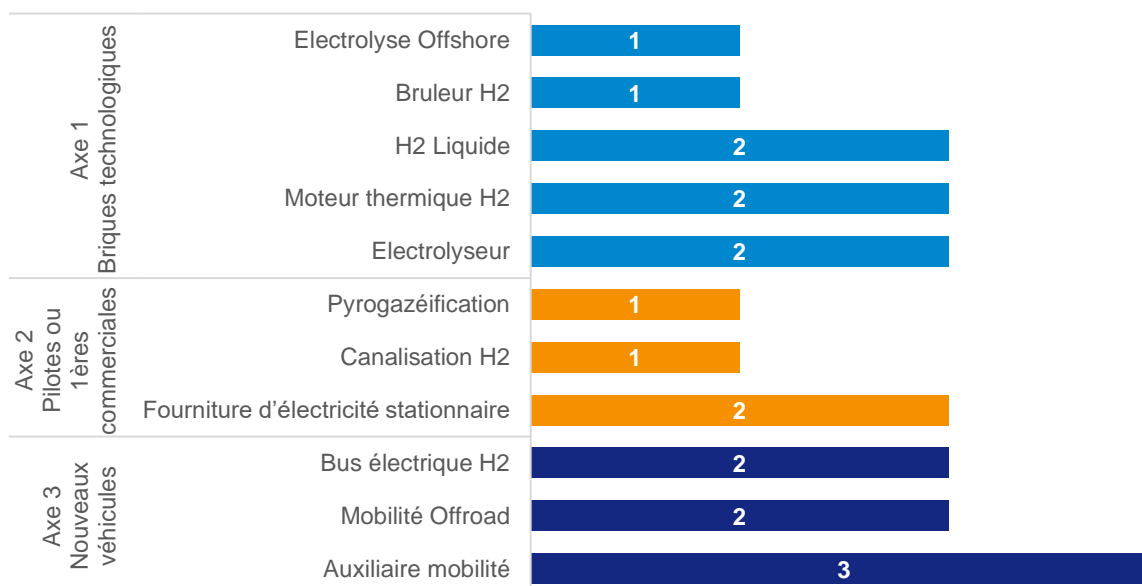


Source : Ademe – Bilan intermédiaire AAP briques technologiques et démonstrateurs hydrogène 2020-2022

Deux principaux types d'innovation se sont dégagés des dix-neuf projets soutenus. D'une part, douze projets mènent des innovations incrémentales sur des thématiques clés pour le renforcement et le déploiement de l'hydrogène décarboné en France (électrolyse, mobilité *off-road*, etc.). D'autre part, sept projets présentent des innovations jugées plus exploratoires par l'Ademe, portant sur des thématiques innovantes dont le déploiement est plus incertain (hydrogène liquide, moteur thermique, nouvelles infrastructures, etc.).

Les projets sélectionnés représentent douze thématiques différentes (électrolyse offshore, pyrogazéification, bus électrique hydrogène, etc.), réparties sur les trois premiers axes de l'APP (voir Graphique 6). L'axe 4 n'a pas fait l'objet de soutien PIA car les projets pressentis n'étaient pas assez innovants ou nécessitaient un soutien financier supérieur à l'aide aux investissements prévue par l'AAP.

Graphique 6 – Répartition des projets sélectionnés par axe et thématique



Source : Ademe – Bilan intermédiaire AAP briques technologiques et démonstrateurs hydrogène 2020-2022

CapPyro H2¹

Mené par l'ingénieur Cap Ingelec et ses partenaires AMVALOR ainsi que par l'institut Carnot, le projet CapPyro H2 dispose d'une aide PIA de 6,8 millions d'euros pour un coût total de 20,2 millions d'euros. D'une durée annoncée de soixante-quatre mois, ce projet prévoit la construction d'un site industriel de production d'hydrogène décarboné à partir de biomasse. Associées à des plans d'approvisionnement en circuit court, les unités de

¹ La description des projets a été réalisée à partir des fiches lauréats publiées par l'Ademe.

production d'hydrogène industrielle pourront être implantées à proximité des sites demandeurs. Une quinzaine d'emplois directs ou indirects sont attendus dès la première unité industrielle.

CEOG

Première centrale électrique multi-mégawatts reposant sur un stockage hydrogène, le projet CEOG (centrale électrique de l'Ouest guyanais) est financée à hauteur de 14 millions d'euros par le PIA, pour un coût total de 171 millions. Elle fournira 10 000 foyers de l'ouest guyanais en électricité et permettra d'éviter l'émission de 39 000 tonnes de CO₂ chaque année. Pouvant stocker jusqu'à 128 mégawattheures (MWh) d'énergie, la CEOG sera le plus grand projet au monde de stockage d'énergie renouvelable variable principalement par hydrogène. Prévues pour la mi-2024, elle sera composée d'un parc photovoltaïque de 55 MWc, d'un système de batteries de 10,5 MW/40 MWh et de toute une infrastructure hydrogène. Cette dernière sera elle-même composée d'un système d'électrolyseurs d'une puissance totale de 16 MW, d'un stockage d'hydrogène sous forme gazeuse, et de piles à combustible d'une puissance de 3 MW au total.

CRYO PIP LH2

Porté par l'entreprise ukrainienne ITP Interpipe, le projet CRYO PIP LH2 jouit d'une aide PIA de 1 million d'euros, pour un coût total de 3 millions. Il ambitionne le développement et la fabrication d'un démonstrateur de pipeline à double enveloppe pour le transport de l'hydrogène liquide. Prévoyant plus d'une centaine de créations d'emplois, le projet accompagnera la création d'une filière de pipelines calorifugés LH2 en France.

ECH2

Porté par Vitesco Technologies et ses partenaires Laplace, Siemens, Alstom et IFP, le projet Électronique de contrôle pour véhicules à hydrogène (ECH2) bénéficie d'un financement de 3,8 millions d'euros de la part du PIA, pour un coût total de 6,4 millions. Il vise à développer et produire de l'électronique de contrôle pour des systèmes de piles à combustible, et à réduire le coût des véhicules à hydrogène.

Elementa H2

Mené conjointement par Améthyste, ArianeGroup, Cetim, HDF Energy, Rubis Terminal et Sofresid Engineering, le projet Elementa H2 prévoit le développement d'une barge de démonstration embarquant un système de pile à combustible hydrogène de forte puissance fabriquée en France pour alimenter les navires à quai du port fluvial de Rouen. Avec une mise en service prévue pour 2025, Elementa H2 permettra de réduire de 85 %

les émissions de CO₂ par rapport aux solutions existantes, et éliminera entièrement les émissions d'oxydes d'azote et de dioxyde de soufre en escale.

FCC Gen 3

Porté par l'équipementier automobile Garrett Motion, le projet « Compresseur électrique pour pile à combustible hydrogène » (FCC Gen 3) présente un coût total de 21,5 millions d'euros, dont 5,4 financés par le PIA. L'entreprise promet de développer, sur son site de Thaon-les-Vosges (Grand Est), un nouveau compresseur électrique de troisième génération. Destiné aux véhicules utilitaires légers, aux camions et aux engins de chantiers, ce nouveau compresseur sera efficient, compact, sans lubrification, indépendant en air et clé en main, intégrant un onduleur compact sans câbles et un software adapté aux dernières normes automobiles. Il permettra d'éviter l'émission de 4,5 tonnes de CO₂ pour un véhicule commercial léger et de 45 tonnes de CO₂ pour un véhicule lourd.

H2 BOOST

D'un coût total de 11,6 millions d'euros, le projet H2 BOOST bénéficie d'une aide de 2,9 millions dans le cadre du PIA. Porté par le constructeur automobile italien IVECO sur son site rhodanien (Auvergne-Rhône-Alpes), le projet est doublement articulé dans le but de réduire le coût d'exploitation des bus hydrogène. D'une part, il prévoit le développement d'un nouveau bus hydrogène disposant de solutions pour maximiser l'efficacité inter-système. D'autre part, le projet comprend le développement d'un moyen de test (E-Bench) en boucles courtes portant sur l'ensemble du système (batterie, pile à hydrogène, chaîne de traction et auxiliaires de type compresseurs d'air, filtres, etc.).

H2D2

Porté par CK Industries et ses partenaires Erem, IBS, Kässbohrer et IFP, le projet H2D2 a reçu une aide de 6,4 millions d'euros dans le cadre du PIA, pour un coût total de 6,7 millions. Créant une trentaine d'emplois directs, le projet vise à développer un groupe motopropulseur hydrogène appliqué aux véhicules lourds, et bénéficiant d'une forte puissance, d'un couple élevé, d'une bonne autonomie, et de la possibilité d'être installé en rétrofit. Trois composantes clés du groupe motopropulseur seront développées : une pile à combustible de 200 kW, un moteur de 320 kW, avec un couple > 800 N, et une batterie haute performance de 60 kWh. Ainsi, un véhicule lourd (plus de huit tonnes) équipé d'un tel groupe motopropulseur devrait émettre quatre fois moins de CO₂ sur l'ensemble de son cycle de vie qu'un véhicule équivalent thermique.

HYCEVAL

Porté par l'équipementier automobile américain BorgWarner et d'autres partenaires, le projet HYCEVAL présente un coût total de 9 millions d'euros et bénéficie d'une aide de 4,9 millions dans le cadre du PIA. Le projet prévoit la conception et la construction de deux démonstrateurs de moteurs à combustion interne à hydrogène.

HYFLAM Smart

Aidé à hauteur de 400 000 euros, le projet HYFLAM Smart, porté par Fives Pillard, vise à développer une gamme de brûleurs ultra-bas NOx 100 % hydrogène destinée à tout type d'infrastructure gazière.

HyMot

Bénéficiant d'une aide de 6,2 millions d'euros du PIA pour un coût total de 12,8 millions d'euros, le projet HyMot est porté par Bosch et d'autres partenaires dont Renault, TotalEnergies, Faurecia, IFP ou encore Alpine. Il consiste en l'étude du moteur à hydrogène à destination des véhicules utilitaires légers aux besoins spécifiques (c'est-à-dire effectuant quotidiennement de longs trajets et transportant des charges utiles lourdes). Initié en janvier 2022, le projet doit aboutir à la réalisation d'un démonstrateur roulant et la simulation d'une flotte de roulage numérique. Il devrait permettre la quasi-élimination des émissions de CO₂ pour les véhicules équipés.

MosaHYc

D'une durée de plus de dix ans, le projet MosaHYc est porté par GRTgaz et bénéficie d'une aide de 7,6 millions d'euros dans le cadre du PIA, pour un coût total de 30,5 millions. Il a pour objectif de convertir deux réseaux de gaz existants au transport de l'hydrogène pur (une première commerciale), et de produire un référentiel de projet de conversion et d'exploitation. Ce réseau de soixante-dix kilomètres permettra d'interconnecter la Sarre et la Moselle, et aura une capacité de transport pouvant atteindre 20 000 m³/h. Il devrait générer plus de cent emplois directs et réduire les émissions polluantes de 980 000 tonnes de CO₂ par an à partir de 2030.

OPEN POWER

Porté par le constructeur d'électrolyseurs Elogen, le projet OPEN POWER a pour objectif de concevoir et fabriquer des électrolyseurs de plus grande capacité répondant aux besoins du marché. L'aide apportée de 1,7 million d'euros permettra d'accompagner le développement d'une brique d'électrolyse modulaire compacte de 5 MW.

REVERSI

D'un montant total de 12,1 millions d'euros et bénéficiant d'une aide du PIA de 4,4 millions, le projet REVERSI est porté conjointement par Genvia et le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA). Le projet vise à poursuivre les recherches effectuées par le CEA sur la technologie d'électrolyse à haute température. À ce titre, il cherche à monter en maturité la technologie et la fabrication de stack 25-100 (composé de 25 cellules de 100 cm²), ainsi qu'à développer et valider sur banc un module multi-stack réversible.

SAFRAH2

Le projet SAFRAH2 est porté par le spécialiste de la mobilité décarbonée Safra et aidé financièrement par le PIA à hauteur de 4,8 millions d'euros, pour un coût total de 17,3 millions. Le projet ambitionne de développer une nouvelle gamme d'autobus et autocars à hydrogène. Il devrait engendrer un chiffre d'affaires cumulé de 662 millions d'euros entre 2021 et 2025, et créer plus de 1 300 emplois directs.

Sealhyfe

Porté par le producteur d'hydrogène Lhyfe, le projet Sealhyfe présente un coût total de 3,1 millions d'euros, dont une aide de 970 000 euros dans le cadre du PIA. Il s'agira de créer le premier électrolyseur flottant au monde pour accompagner le développement de la production d'hydrogène offshore. Implanté sur le site SEM-REV au large du Croisic (Pays de la Loire), le projet permettra à Lhyfe d'accumuler de nouvelles connaissances nécessaires pour adapter les briques technologiques aux conditions environnementales propres à l'offshore.

SMAC-FC

Bénéficiant d'une aide PIA de 1,2 million d'euros pour un coût total de 2 millions, le projet SMAC-FC est porté par le fabricant français de turbines Enogia. Il ambitionne de développer une gamme de compresseurs pour piles à combustible hydrogène destinée à toutes les applications. Ils intégreront deux familles de composants développés dans le cadre du projet : de l'électronique intégrée, très précisément adaptée au besoin du compresseur considéré, et des paliers à air permettant des vitesses de rotation plus élevées qu'avec des paliers à billes et permettant de garantir l'absence totale de lubrifiant au sein du compresseur. Ces composants permettront de réduire les coûts de production des compresseurs d'un quart tout en prolongeant la durée de vie de la pile. Enogia entend faire des compresseurs PAC son activité principale d'ici à 2027, et devrait ainsi créer plus de 172 emplois locaux.

StockH2Safe

Le projet StockH2Safe est porté par Durag Group et présente un coût total de 5 millions d'euros, dont une aide PIA de 1,1 million. Il prévoit de développer un analyseur pour la mesure des isomères de spin de l'hydrogène en vue de son stockage sous forme liquide.

TRAXX H2

Porté par Exxact Robotics, filiale du groupe EXEL Industries, le projet TRAXX H2 s'est vu octroyer une aide PIA de 700 000 euros pour un coût total de 2,6 millions d'euros. Il vise le développement d'une nouvelle chaîne de traction électrique fonctionnant avec de l'hydrogène et une pile à combustible à destination d'un enjambeur viticole autonome. Par rapport aux solutions thermiques actuelles, le robot viticole développé dans la Marne (Grand Est) devrait permettre de réduire les émissions de CO₂ de 60 %.

3.4. Malgré de nouvelles contraintes, l'ambition française reste forte

Face à de nouveaux enjeux, certains projets pourraient se révéler moins transformateurs qu'envisagé auparavant

Depuis la mise en œuvre de France Relance, la compréhension de l'hydrogène et de ses applications a évolué, permettant de mettre en lumière de nouveaux obstacles, notamment pour son stockage et son transport.

Dans une étude publiée en juillet 2023¹, les gestionnaires de réseaux RTE et GRTgaz ont montré que les électrolyseurs devraient solliciter le système électrique de manière flexible, de sorte à ajuster la production d'hydrogène en fonction des disponibilités et du prix de l'électricité bas carbone, et donc à optimiser la charge du réseau électrique. À l'inverse, une configuration « non flexible » serait énergétiquement inefficace puisqu'elle conduirait à faire consommer par les électrolyseurs une électricité elle-même produite par des centrales au gaz, situation qui cumulerait les pertes d'énergie par rendements de conversion.

Une telle modulation de la consommation d'électricité des électrolyseurs dans le temps nécessite d'importantes infrastructures de transport et de stockage d'hydrogène. Le stockage en cavité saline constitue la solution la plus mature et économique pour disposer d'une configuration flexible mais demeure limité en France. Dans le scénario de demande haute (120 TWh_{PCI}/an) étudié par RTE et GRTgaz, le volume de stockage nécessaire s'élève à 25 TWh_{PCI}, soit beaucoup plus que les capacités des sites salins déjà

¹ RTE & GRTgaz (2023), *Enjeux du développement des infrastructures de stockage et de transport d'hydrogène associés au développement de l'électrolyse et leviers d'optimisation avec le système électrique*, juillet.

existants en France (entre 8,5 TWh_{PCI} et 10 TWh_{PCI} selon les opérateurs de stockage Storengy et Teréga). Aussi, en plus de la conversion de cavités salines au stockage d'hydrogène, qui constitue une innovation, il sera potentiellement nécessaire de développer de nouvelles cavités salines (qui restent à qualifier), de stocker l'hydrogène en milieu aquifère (dont la faisabilité technique n'est pas avérée), ou de connecter le réseau français à des pays ayant un gisement de cavités salines important. Le développement d'infrastructures de transport d'hydrogène permettant de relier ces cavités salines aux bassins de consommation à proximité sera nécessaire, mais ne peut pas être considéré comme acquis¹.

De même, la décarbonation des transports via l'hydrogène pourrait également être plus limitée que prévu. Alors que le développement d'une mobilité lourde à l'hydrogène décarboné constitue l'une des trois priorités de la Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné, le forum international des transports de l'OCDE a montré que l'hydrogène décarboné ne pourra vraisemblablement pas concurrencer les batteries dans le transport routier. En Allemagne, l'autorité organisatrice régionale LNGV, qui avait été la première au monde à lancer une flotte de trains hydrogène, a annoncé qu'elle se tournera finalement vers l'électrique à batteries pour ses lignes non encore électrifiées, en raison de coûts énergétiques trop élevés. Ce revers majeur, alors que LNGV avait investi 93 millions d'euros pour quatorze trains hydrogène, pourrait être annonciateur d'une pertinence bien moindre de l'hydrogène pour les transports terrestres.

Dans ce nouveau contexte, la pertinence de certains projets financés par France Relance pourrait être réévaluée et les investissements réorientés vers les technologies les plus susceptibles de fournir un avantage compétitif à l'échelle mondiale.

L'ambition de France 2030 en matière d'hydrogène reste forte

L'investissement dans les technologies de l'hydrogène n'en reste pas moins une priorité nationale : lors de sa déclaration du 25 septembre 2023 sur la planification écologique, le président de la République, Emmanuel Macron, a exprimé sa volonté de « massivement développer l'hydrogène » afin de « faciliter la sortie des énergies fossiles », notamment via le plan France 2030, qui prévoit 1,9 milliard d'euros pour faire de la France le leader mondial de l'hydrogène décarboné.

¹ RTE (2023), *Analyses tendances et prospectives. Les bilans prévisionnels*.

Sans préjuger d'analyses plus complètes, on peut citer plusieurs champs dans lesquels l'acquisition d'une avance technologique serait particulièrement souhaitable :

- l'industrialisation de l'électrolyse à haut rendement (électrolyse à oxyde solide, dite « SOEC ») à des coûts abordables constituerait une avancée et un avantage compétitif majeurs ;
- plus généralement, les filières industrielles d'équipements : cela peut concerner le stockage géologique d'hydrogène, dont on a dit l'importance ; le transport, y compris sous forme de molécules dérivées (ammoniac, etc.) ; et tous les composants et systèmes nécessaires à l'usage d'hydrogène ou de ses molécules dérivées dans les transports maritimes et aériens, l'industrie, voire l'énergie ;
- les technologies de production d'e-carburants à base d'hydrogène, avec la contrainte que le carbone utilisé devra à terme être d'origine biogénique.

Il faudra enfin soutenir la filière française dans son internationalisation. Une trentaine de pays ont annoncé des stratégies nationales de développement de la filière, si bien que la capacité installée totale d'électrolyseurs d'ici à 2030 pourrait atteindre 95 GW, dont au moins la moitié hors UE. Face à une concurrence internationale très dynamique, le développement de la filière française à l'international est essentiel pour lui permettre de valoriser son expertise et de se positionner sur de nouveaux marchés prometteurs.

Conclusion

Ce chapitre avait pour objectif de présenter les différents projets soutenus par les quatre dispositifs cofinancés par France Relance. Si une évaluation précise et complète n'a pas pu être conduite en raison de données individuelles limitées et de projets non encore aboutis, ce premier bilan a permis de mettre en lumière la dynamique du déploiement de l'hydrogène décarboné en France. La diversité des dossiers et des entreprises aidées par France Relance témoigne d'un engagement fort de la part de l'État, dont l'objectif est de faire du pays l'un des leaders mondiaux de l'hydrogène décarboné. Les dispositifs aidés par France Relance ont permis de soutenir trente-cinq projets : sept projets incluant la construction de giga-usines dans le cadre du PIIEC et qui devraient permettre à la France de découpler ses capacités industrielles relatives à l'hydrogène, en particulier dans la production d'électrolyseurs ; vingt-cinq projets d'innovation incrémentales (électrolyse, mobilité *off-road*, etc.) ; et sept projets d'innovations plus exploratoires et dont le déploiement est incertain (hydrogène liquide, moteur thermique, nouvelles infrastructures, etc.).

Face aux évolutions de la filière, certains de ces trente-cinq projets pourraient se révéler moins pertinents que prévu. De nouvelles études ont montré que les électrolyseurs devront solliciter le système électrique de manière flexible. Or la France ne pourra pas développer partout les infrastructures de transport et de stockage d'hydrogène pourtant nécessaires pour moduler la consommation des électrolyseurs. De plus, l'abandon de certains projets majeurs ayant trait à la mobilité hydrogène pourrait être annonciateur d'une pertinence bien moindre du vecteur pour les transports terrestres. Malgré ces changements de perspective, l'ambition française en matière d'hydrogène reste forte, comme en témoigne la poursuite de la Stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné qui consacrera jusqu'à 9 milliards d'euros au développement de la filière. Dans ce contexte, France 2030 doit investir 1,9 milliard d'euros pour faire du pays le leader mondial de l'hydrogène décarboné, en soutenant des projets stratégiques et transformateurs. Le plan investira notamment dans les filières industrielles d'équipements sur l'ensemble de la chaîne de valeur de l'hydrogène : production, stockage, transport, distribution, stations de rechargement, composants et systèmes nécessaires à son usage dans la mobilité lourde, l'industrie, voire l'énergie.

Une évaluation future pourra être menée une fois l'ensemble des projets soutenus par France Relance accomplis. Alors que la plupart des projets prévoient des mises en service effectives entre fin 2023 et fin 2025, il est encore difficile de comprendre l'impact concret de France Relance sur le positionnement du pays en termes d'hydrogène décarboné.



Directeur de la publication/rédaction

Cédric Audenis, commissaire général par intérim

Secrétaires de rédaction

Olivier de Broca, Gladys Caré, Éléonore Hermand, Valérie Senné

Contact presse

Matthias Le Fur, directeur du service Édition/Communication/Événements

01 42 75 61 37, matthias.lefur@strategie.gouv.fr