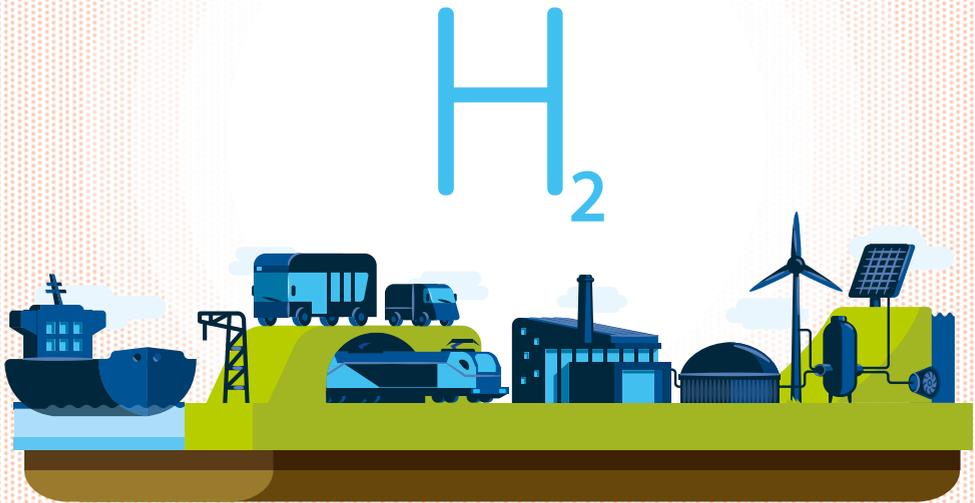


Sept.
2021



CLÉS POUR AGIR

Développer l'hydrogène renouvelable et bas carbone



EDITO



Arnaud Leroy
*Président - Directeur
général de l'ADEME*

Alors qu'il était pendant longtemps réservé à certains secteurs industriels et promu par quelques convaincus, l'hydrogène occupe aujourd'hui une place croissante dans les stratégies de neutralité carbone et les plans de relance français et européens.

Vecteur énergétique à fort potentiel, il offre des opportunités pour valoriser les énergies renouvelables électriques et décarboner les secteurs de l'industrie, des transports et à terme, possiblement du bâtiment.

En investissant 7,2 milliards d'euros d'ici 2030, dont 2 milliards d'euros entre 2020 et 2022, l'État a clairement affiché ses ambitions sur l'hydrogène, avec l'objectif de conjuguer développement technologique, compétitivité économique et transition écologique, au plus près des territoires.

Opérateur du Plan France Relance, du Programme d'investissements d'avenir et partenaire historique de la filière hydrogène, l'ADEME est au cœur du dispositif de soutien pour accompagner, à la fois les innovations technologiques et le déploiement de solutions dans l'industrie et la mobilité, en lien étroit avec les Régions, sur l'ensemble du territoire national.

L'ADEME défend la production d'un hydrogène compétitif par rapport à l'usage qui en est fait et la pertinence environnementale de ses utilisations, notamment pour la mobilité lourde et l'industrie décentralisée. Le développement

de l'hydrogène produit à partir de sources renouvelables, combiné aux actions de sobriété et d'efficacité énergétique sera ces prochaines années un atout majeur pour relever nos défis environnementaux et sociétaux. Nous sommes résolument aux côtés des territoires et acteurs de la filière pour les aider à saisir les opportunités aujourd'hui offertes pour faire de notre pays un moteur de l'Europe sur l'hydrogène renouvelable et bas carbone !

**L'ADEME
défend la
production
d'un hydrogène
renouvelable
et bas carbone,
compétitif au
regard de l'usage
qui en est fait et
de la pertinence
environnementale
qui en découle.**

Ce document est édité par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Coordination technique : Laurence Dubourg, Barbara Segré, Luc Bodineau
ADEME

Conception, rédaction, réalisation : Luc-Michel Gorre Conseil Editorial

Illustration de couverture et p. 4/5 : Antoine Dagan

Crédits photos : Shutterstock, 123RF, Jean Chiscano p.3, McPhy p. 7,
Alstom p. 10, DR.

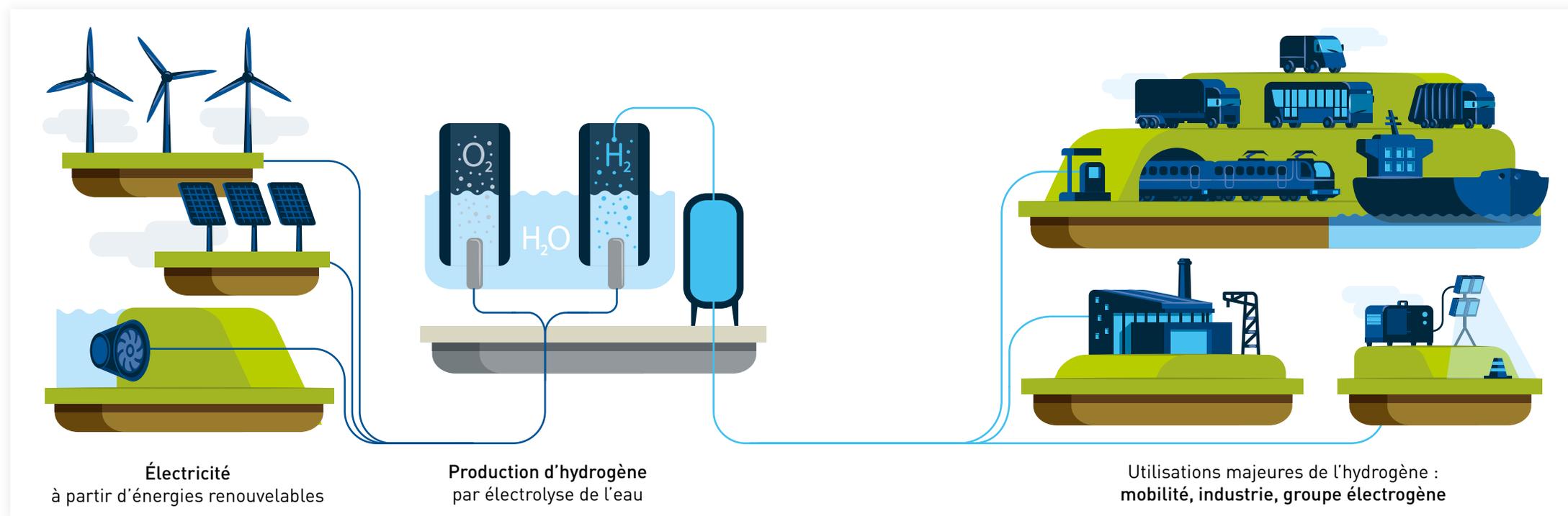
Impression : imprimé en France - L'Artésienne Liévin - Certification PEFC

Brochure réf. 011390
ISBN Web : 979-10-297-1735-2

Dépôt légal : ©ADEME Éditions, août 2021

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L122-10 à L122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

PRODUCTION



PRODUIRE DE L'HYDROGÈNE RENEUVELABLE ET BAS CARBONE

L'hydrogène est un vecteur énergétique, et non une source d'énergie primaire. L'intérêt environnemental de son usage dépend donc du mode de production choisi.

PRODUIRE DE L'HYDROGÈNE

Le **dihydrogène H₂**, plus communément appelé hydrogène du nom de l'élément qui le constitue, est un gaz inodore et incolore. Sur Terre, cette molécule est peu abondante, présente à l'état de traces dans l'atmosphère. Pour le produire, il est nécessaire d'extraire les atomes hydrogène de **sources ou matières premières** qui en contiennent :

- l'eau (H₂O) ;

- les sources fossiles comme les hydrocarbures (gaz naturel, le pétrole) ou le charbon, toutes constituées de carbone, d'oxygène et d'hydrogène ;
- la biomasse, comme le bois, ou des combustibles issus de la biomasse comme le biogaz, également constitués de carbone, d'oxygène et d'hydrogène.

Pour extraire cet hydrogène et former le gaz dihydrogène, les **procédés** mis en œuvre sont multiples et nécessitent de l'énergie et des ressources. Il s'agit de :

- l'électrolyse, qui utilise un courant électrique pour « casser » la molécule d'eau. On distingue plusieurs technologies d'électrolyse qui se développent actuellement, dont l'électrolyse alcaline et PEM (à membrane échangeuse de

protons). Pour ce procédé, la source d'énergie utilisée est l'électricité, qui peut être de différente nature (mix réseau, renouvelable, etc.) ;

- le vaporeformage du gaz naturel, qui consiste à « casser » la molécule de méthane, à haute température (700 °C) et en recourant à des catalyseurs à base de nickel ;
- la pyrogazéification, qui décompose de la matière solide, comme du bois ou des déchets, sous l'effet de la chaleur, pour en extraire un gaz complexe, dont on peut extraire de l'hydrogène.

Dans la suite du document, le terme hydrogène sera utilisé pour parler du gaz dihydrogène.

LE CONTENU GES DE L'HYDROGÈNE

L'empreinte environnementale de l'hydrogène ainsi produit sera notamment fonction de la source mobilisée et de l'énergie utilisée pour le fabriquer. Le tableau suivant présente ainsi le « poids carbone » ou la quantité de gaz à effet de serre (GES) qu'a généré la **fabrication d'1 kg d'hydrogène**.

SOURCES	PROCÉDÉS	kgCO ₂ /kgH ₂	
Eau	Électrolyse	Électricité du mix réseau français	2,77
		Électricité éolienne	0,70
		Électricité photovoltaïque	2,58
		Électricité hydraulique	0,45
Gaz naturel	Vaporeformage	11,10	

Source : Base Carbone ADEME 2020 et selon la mise à jour prévue d'ici fin 2021

PRODUCTION

Il s'agit des émissions en $\text{kgCO}_2/\text{kgH}_2$ correspondant à l'ensemble de la chaîne amont, comprenant également la fabrication des équipements et de l'électricité utilisée.

Le transport éventuel de cet hydrogène n'est pas inclus dans les données ci-dessus. Cette étape peut s'avérer importante, de 0,35 à 1,1 kgCO_2 émis par kg d'hydrogène transporté sur 100 km par camion. Le contenu Gaz à Effet de Serre d'un kilo d'hydrogène varie ainsi dans un rapport de 1 à 20 !

LES APPELLATIONS DE L'HYDROGÈNE

Une couleur est parfois employée pour mieux caractériser l'hydrogène, en fonction de la source ou du procédé utilisé : hydrogène vert, jaune, bleu, gris, etc. Le cadre européen est en cours de définition et permettra de disposer de règles communes. Au niveau national, **l'ordonnance 2021-167 du 17 février 2021** définit d'ores et déjà des catégories distinctes.

APPELLATION	DÉFINITION RÉGLEMENTAIRE	EXEMPLES CORRESPONDANTS
Hydrogène renouvelable « vert »	Hydrogène produit par électrolyse utilisant de l'électricité issue de sources renouvelables [...] ou toute autre technologie utilisant ces sources mais sans conflit d'usage. La quantité de CO_2 émis est inférieure à un seuil (à définir par décret).	<ul style="list-style-type: none">Électrolyse raccordée à un parc éolien ou photovoltaïqueÉlectrolyse raccordée au réseau mais achetant de l'électricité renouvelable
Hydrogène bas carbone	Hydrogène produit par un procédé émettant en dessous de ce seuil (à définir par décret).	<ul style="list-style-type: none">Électrolyse raccordée au réseau électrique nationalVaporemformage de gaz naturel avec captage et stockage maximisé du CO_2
Hydrogène carboné « gris »	Hydrogène ni renouvelable, ni bas carbone.	Vaporemformage de gaz naturel, avec ou sans captage et stockage partiel du CO_2
Hydrogène coproduit	Hydrogène produit dans un procédé industriel et autoconsommé.	Hydrogène issu des procédés de production du chlore et de la soude

Les valeurs seuils européennes

L'Union Européenne a défini des critères de durabilité, permettant de qualifier des investissements comme durables en Europe, compatibles avec sa stratégie de lutte contre le changement climatique. Concernant l'hydrogène, elle a fixé comme valeur seuil 3 $\text{kgCO}_2/\text{kgH}_2$ pour la production d'hydrogène « durable ». Sont aussi concernés les carburants de synthèse (associant hydrogène et CO_2) pour lesquels l'UE a fixé un seuil de 28,2 $\text{gCO}_2/\text{MJPCI}$.

Repères

- Contenu énergétique de l'hydrogène : 1 $\text{kg H}_2 = 33,3 \text{ kWh PCI}$ (soit = 120 MJ PCI)
- Volume : 1 $\text{kg H}_2 = 11 \text{ m}^3$ à température et pression normales
- Consommation : 1 kgH_2 pour 100 km en véhicule léger.

L'ÉLECTROLYSE, TECHNOLOGIE CLÉ

L'électrolyse est une des technologies clés pour produire de l'hydrogène renouvelable et bas carbone, en France et dans le monde. **Le développement**

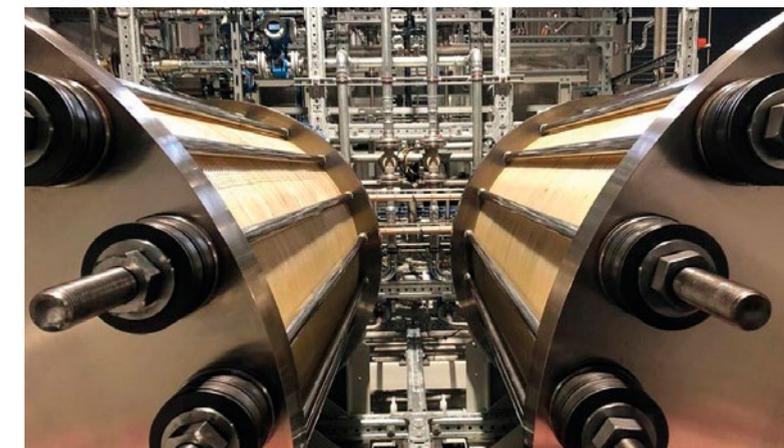
croissant des sources renouvelables électriques (éolien, photovoltaïque, hydraulique) pourra s'accompagner du déploiement des électrolyseurs, pour produire de l'hydrogène et ainsi mieux valoriser ces ressources dans les usages, en industrie et pour la mobilité lourde tout particulièrement. Avec les techniques actuelles, il faut environ 56 kWh pour produire un kg d'hydrogène.

La Stratégie nationale sur l'hydrogène entend **accompagner l'industrialisation**, en France, de la fabrication de ces équipements. Cette industrie naissante représente en effet des enjeux pour des PME, des ETI et grands groupes. L'industrialisation permettra de baisser les coûts et de rendre la production d'hydrogène plus compétitive.

H2 et rendement énergétique

Le vecteur hydrogène s'insère dans une chaîne énergétique, avec une cascade de conversions qui génèrent des pertes. Le rendement énergétique global, de la source d'électricité à la roue d'un véhicule hydrogène par exemple, est de l'ordre de 25 à 30 % avec les meilleures technologies. Pour un véhicule à batterie, il est de l'ordre de 70 %. Ainsi, l'ADEME recommande de ne recourir à l'hydrogène que lorsque les solutions batteries ne répondent pas à l'usage ou à ses contraintes d'exploitation (autonomie, charge utile, etc.), dans le domaine de la mobilité ou du stationnaire.

Source : ADEME, Fiche technique Rendement chaîne H_2 , 2020



COÛT ET PRIX DE L'HYDROGÈNE

Dans la notion de « coût de l'hydrogène », il faut distinguer :

- Le coût de production**, « au pied de l'usine ». Actuellement, l'hydrogène produit par vaporemformage de gaz naturel sans CCS coûte entre 1 et 2 €/kg. Les premiers projets d'électrolyse, d'une puissance inférieure à 10 MW, présentent des coûts de l'ordre de 4 à 6 €/kg, qui pourront baisser avec l'industrialisation, le déploiement et des développements technologiques.
- Le prix final** pour l'utilisateur. Il comprend, outre les marges, le coût de production, de conditionnement (compression, stockage) et d'éventuel acheminement de l'hydrogène jusqu'au point d'usage. Sur le panel des 19 projets d'écosystèmes de mobilité H_2 financés par l'ADEME en 2019 et 2020, le prix de l'hydrogène commercialisé à la pompe s'établit entre 8 et 12 €/kg.

Pile à hydrogène

À son point d'usage final, comme à bord d'un véhicule, l'hydrogène alimente généralement une pile. Cette pile recombine l'hydrogène et l'oxygène de l'air pour produire de l'électricité et de l'eau. C'est la réaction inverse de l'électrolyse, qui permet de disposer d'électricité à partir d'hydrogène.

MOBILITE



FAVORISER UNE MOBILITÉ LOURDE À FAIBLE ÉMISSION

Grâce à sa forte capacité de stockage d'énergie, l'hydrogène peut alimenter des véhicules qui nécessitent une grande puissance motrice et une large autonomie.

Un véhicule à hydrogène est un véhicule à propulsion électrique, qui tire son énergie d'une pile à combustible alimentée avec ce gaz. Capable de stocker une grande quantité d'énergie, l'hydrogène peut être utilisé pour la mobilité lourde : transport collectif de personnes, transport de marchandises, collecte d'ordures ménagères...

Les véhicules à hydrogène et les véhicules électriques avec batterie sont des solutions complémentaires, et non « concurrentes ». Du point de vue du rendement énergétique, le véhicule électrique à batterie est une solution à considérer avant d'envisager le recours à l'hydrogène. En revanche, si le service de mobilité ne peut être rendu avec « l'électrique

batterie », la solution hydrogène peut s'avérer très pertinente. C'est particulièrement le cas pour les véhicules lourds.

L'hydrogène est facile d'emploi : alors qu'il faut plusieurs heures pour recharger la batterie électrique d'un véhicule, il ne faut que quelques minutes pour ravitailler le réservoir d'un véhicule électrique qui fonctionne à partir d'hydrogène.

L'hydrogène ne rejette que de l'eau lorsqu'il est utilisé dans une pile à hydrogène pour générer l'électricité qui va alimenter le moteur du véhicule. Il contribue également à l'amélioration de la qualité de l'air, en évitant à l'échappement les émissions de particules, de soufre et d'oxyde d'azote.

Des modèles économiques viables seront prochainement atteints sur la base des démonstrations et prédéploiements en cours, pour la mobilité de véhicules professionnels lourds (camions, bus, trains...) à l'hydrogène. La production industrielle des systèmes de propulsion à l'hydrogène contribuera à faire diminuer le coût d'achat des véhicules.

Un développement ambitieux

La PPE (Programmation Pluriannuelle de l'Énergie) prévoit, à l'horizon 2028, le déploiement de :

- 400 à 1 000 stations-service hydrogène ;
- 20 000 à 50 000 véhicules utilitaires légers ;
- 800 à 2 000 véhicules lourds (bus, camions, bateaux, trains).

Entre 2018 et fin 2020, 19 projets de mobilité hydrogène ont été retenus et financés par l'ADEME. En cours de réalisation, ces projets d'écosystèmes représentent :

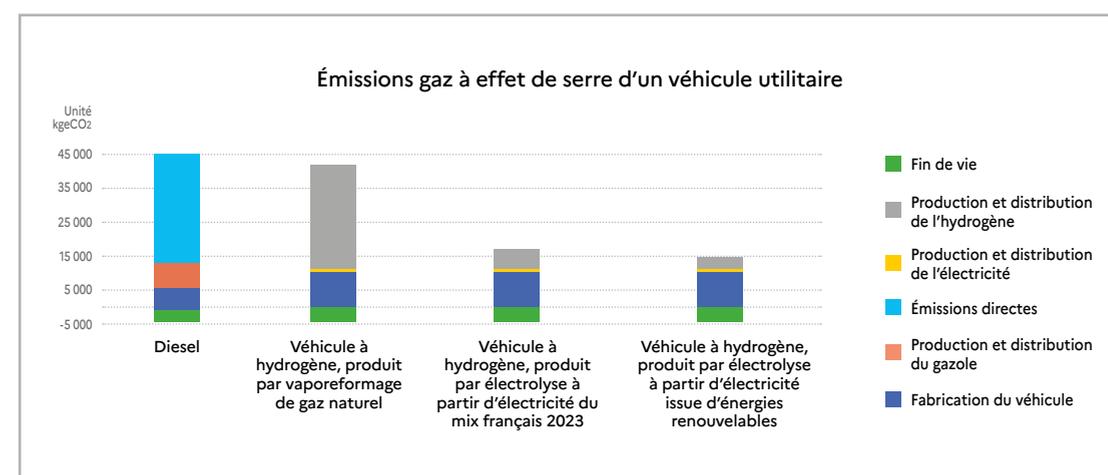
- 57 nouvelles stations-services ;
- 21,6 MW de capacité de production d'hydrogène par électrolyse, soit 3 100 tonnes par an ;
- 2 400 véhicules utilitaires légers et 160 véhicules lourds.

Cycle de vie

Une étude d'Analyse du Cycle de Vie porte sur les impacts de la production d'hydrogène et son usage en mobilité. Elle s'appuie sur différents scénarios pour la production d'hydrogène, son transport et sa distribution : vaporeformage du gaz naturel, électrolyse, avec différents mix

électriques utilisés et différentes hypothèses pour le transport d'hydrogène. Deux types de véhicules légers sont évalués : un véhicule utilitaire de taille moyenne et une berline utilisée en flotte professionnelle.

<https://www.ademe.fr/analyse-cycle-vie-relative-a-lhydrogene>



Dijon Métropole : convertir l'ensemble du parc d'autobus

La métropole poursuit le programme qui doit lui permettre d'atteindre la neutralité carbone. Après les bennes à ordures ménagères, elle s'est engagée dans une démarche pour verdir son parc d'autobus. À l'horizon 2022, 27 bus, soit près de 15 % du parc, se ravitailleront à une station hydrogène, produit à partir d'électricité issue de la combustion des déchets ménagers. L'objectif est de basculer les 175 bus de la flotte à l'hydrogène à l'horizon 2030, avec un achat de 102 bus supplémentaires dès 2026. Dijon Métropole sortira alors de l'utilisation d'énergies fossiles pour le transport public de voyageurs.

Financement ADEME : 1,75 M€ pour la station de production et de distribution d'hydrogène ; 6 M€ pour les véhicules. Coût total du projet : 43 M€.

Calendrier. 04/2021 : commande de la station de production et distribution. Fin 2022 : mise en service.



La SNCF s'engage dans le train à hydrogène

La SNCF a commandé à Alstom douze trains à hydrogène pour le compte de quatre régions : Bourgogne – Franche-Comté, Auvergne – Rhône-Alpes, Grand Est et Occitanie, soit trois par région. Les rames circuleront à partir de 2025 avec une autonomie de 600 km sur des lignes régionales qui n'ont pas été électrifiées, évitant l'utilisation de trains diesel. Elles seront bi-mode, pouvant se brancher sur la caténaire lorsque la voie est électrifiée.



Amaury Vaussavin
Chef de projet Dijon
Métropole Smart Energy



Le vecteur hydrogène convient parfaitement aux besoins d'autonomie des bus de la métropole, qui parcourent entre 250 et 350 km par jour du fait de la longueur des lignes. Grâce à l'aide de l'ADEME, nous passons d'une logique d'expérimentation à une mise en exploitation industrielle.



Benoît Courteille
Responsable R&D
Chéreau

Le frein au démarrage reste le coût d'acquisition. Nous avons besoin d'une aide pour la création d'un écosystème de développement industriel.

Le déploiement des réglementations locales en faveur de la qualité de l'air permettra à terme de rendre nos solutions compétitives.



Chéreau : des camions frigorifiques à l'hydrogène

90 % des systèmes qui produisent le froid des camions frigorifiques fonctionnent avec un moteur diesel. N°2 européen des constructeurs de semi-remorques frigorifiques implanté à Avranches en Normandie, Chéreau expérimente une production de froid à partir d'hydrogène. Les résultats de son projet ROAD sont positifs : économies d'énergie, froid de bonne qualité, zéro émission, remplissage en 10 à 15 minutes, réduction du bruit. Le système permet une autonomie de 2 à 3 jours pour un semi-remorque en transport longue durée ou une journée en livraison avec ouverture fréquente des portes. La plupart des clients sont des transporteurs qui disposent de grands entrepôts, dont le toit peut être équipé de panneaux photovoltaïques pour fabriquer de l'hydrogène.

Calendrier. 2022 : production d'une dizaine d'exemplaires du véhicule. 2023 : début de l'industrialisation. 2030 : production de 1000 semi-remorques à l'hydrogène par an.



Symbio :

devenir un leader de la mobilité hydrogène

Codétenue par les groupes Michelin et Faurecia, Symbio conçoit, produit et commercialise des piles à hydrogène pour véhicules utilitaires, camions et bus. Forte d'une expertise unique et d'une priorité donnée à la mise en place de standards de production, l'entreprise ambitionne de devenir un leader mondial de la mobilité hydrogène et de produire 200 000 StackPack® – des systèmes hydrogène pré-validés et pré-intégrés – par an en 2030, à destination des constructeurs automobiles du monde entier. Symbio, dont le siège est à Fontaine, dans l'Isère, participe ainsi à l'accélération du



déploiement de la mobilité hydrogène, par nature zéro-émission et peu contraignante en termes de temps de recharge et d'autonomie pour les utilisateurs finaux.



Philippe Rosier
CEO de Symbio



Le rôle joué par l'ADEME est clef dans le développement de la filière hydrogène française et celui de sa composante « mobilité » en particulier. En contribuant au financement d'écosystèmes hydrogène, l'Agence facilite en effet l'émergence des premiers marchés pour les constructeurs automobiles. Un levier indispensable pour avancer vers la production en série, donc la baisse des coûts des véhicules hydrogène.





DÉCARBONER L'INDUSTRIE

L'utilisation par les industriels d'hydrogène renouvelable peut contribuer à atteindre l'objectif fixé par la stratégie nationale bas carbone : la diminution des émissions du secteur industriel à 53 millions de tonnes de CO₂ à l'horizon 2030, contre 80 millions de tonnes aujourd'hui.

L'industrie française utilise actuellement 780 000 tonnes d'hydrogène par an, pour le raffinage (désulfuration des carburants), la production d'engrais, la chimie, la verrerie, la synthèse de matières plastiques ou la fabrication de circuits imprimés électroniques. Elles sont produites à 95 % à partir d'énergies fossiles, ce qui engendre des émissions de l'ordre de 8,7 millions de tonnes de CO₂ par an.

L'enjeu principal est de diminuer le recours aux énergies fossiles, en augmentant la part d'hydrogène produit par électrolyse dans ces secteurs. Cela passe par le développement d'électrolyseurs (cf p. 4) en quantité suffisante pour les besoins des industriels. La France se fixe un objectif de 6,5 GW d'électrolyseurs installés en 2030, dont une partie sera dédiée aux usages industriels.

Au-delà des usages actuels de l'hydrogène, d'autres secteurs comme la sidérurgie pourraient à l'avenir se convertir à l'hydrogène renouvelable et bas carbone. Des projets sont attendus en France et en Europe dans la décennie à venir afin de réduire le poids carbone des aciers. L'usage direct de l'hydrogène comme combustible pourrait aussi permettre de remplacer le gaz naturel dans certains procédés thermiques utilisant des fours.

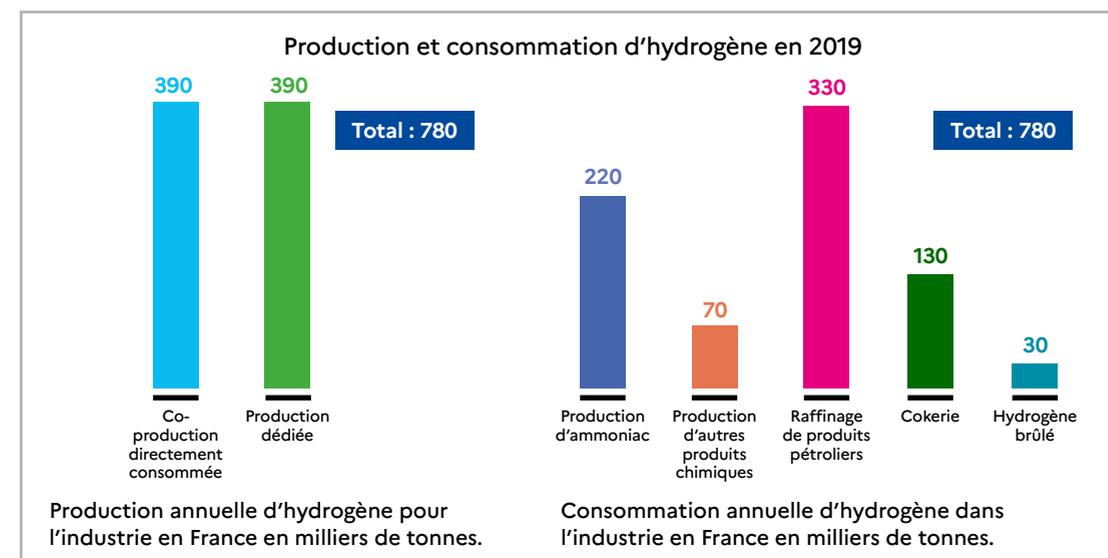
La production et la consommation d'hydrogène dans l'industrie

En France, en 2019 la production d'hydrogène est estimée à 780 000 t par an :

- 390 000 t/an d'hydrogène coproduit et directement autoconsommé dans les procédés de raffinage, de pétrochimie et les cokeries. Il comprend celui issu des procédés du chlore (60 000 t/an).
- 390 000 t/an de production dédiée, à partir d'unités de vaporeformage de gaz naturel.

Cette production était estimée en 2012 à 900 000 t/an. Sa diminution s'explique par la fermeture de raffineries, d'unités de production d'ammoniac et de cokeries.

Source : France Hydrogène



	2021	2030	2050
Coût de production	4,3 €/kgH ₂	3,4 €/kgH ₂	2,9 €/kgH ₂
Hypothèses pour une Installation ≥ 20 MW, fonctionnant 5 000 h/an et un prix de l'électricité de 60 €/MWh (TURPE* compris)	1 500 €/kW 56 kWhé/kgH ₂	500 €/kW 51 kWhé/kgH ₂	350 €/kW 46 kWhé/kgH ₂

* Tarif d'utilisation des réseaux publics d'électricité

Le coût de production de l'hydrogène fabriqué par électrolyse

L'enjeu dans l'industrie est de substituer la production dédiée (390 000 t/an) par de l'hydrogène issu d'électrolyse. Celui-ci reste néanmoins plus cher à produire. L'ADEME estime le coût actuel en-dessus de 4 €/kgH₂. Celui-ci pourra décroître, grâce à la réduction des coûts d'investissement liée à l'industrialisation, à l'allongement de la durée de vie des électrolyseurs et à l'amélioration des rendements. La mutualisation des usages industriels et de mobilité peuvent améliorer la rentabilité de ces projets sur un territoire.



OPTIMISER LA PRODUCTION ET L'USAGE D'ÉNERGIE

L'hydrogène est un moyen d'optimiser l'utilisation des énergies renouvelables, en stockant l'électricité qui n'est pas immédiatement consommée ou en permettant la fabrication de méthane de synthèse.

À l'échelle d'un site isolé, d'un micro-réseau électrique

Lorsqu'une installation photovoltaïque ou éolienne produit de l'électricité qui n'est pas immédiatement consommée, cette électricité peut être stockée pour une utilisation différée. Parfois, des batteries seules suffisent, mais dans certains cas un stockage complémentaire par hydrogène est nécessaire pour être totalement autonome. Le surplus d'électricité, une fois transformé en hydrogène par électrolyse de

l'eau, est stockable sur du long terme (plusieurs semaines, plusieurs mois), ce qui représente un réel avantage.

Ainsi, lorsqu'il n'y pas assez de production électrique instantanée pour répondre à la demande, l'hydrogène peut être à nouveau transformé en électricité. Ce procédé est un moyen efficace pour intégrer des énergies renouvelables intermittentes, décorréliées de la demande.

Actuellement, la solution de stockage de l'électricité en hydrogène est environnementalement et économiquement pertinente sur certains sites isolés ou micro-réseaux alimentés à 100 % en énergies renouvelables intermittentes. Dans ces conditions, il est alors pertinent de pouvoir stocker de l'énergie suffisamment longtemps pour pallier l'absence de soleil ou de vent sur plusieurs jours ou pour répondre à un besoin de stockage saisonnier.



Nicolas Verdier
Chargé de mission
Sidelec Réunion

“
L'autonomie supplémentaire de secours attendue de 3 jours pour pallier aux événements climatiques rend la solution hydrogène compétitive.”

Le cirque de Mafate en autonomie énergétique

Le village de La Nouvelle, au cœur du Cirque de Mafate à La Réunion, expérimente depuis 2017 un système de stockage hybride batterie/chaîne hydrogène. Le projet est porté par EDF et le Sidélec (Syndicat Intercommunal d'Électricité du Département de la Réunion). Une installation couple des panneaux photovoltaïques à des batteries pour assurer un stockage à court terme (1 à 2 j) et à une chaîne hydrogène permettant un stockage à plus long terme (4 à 5 j). Grâce à ce système, quatre bâtiments publics peuvent être 100 % autonomes en énergie : le dispensaire, l'école, le logement de fonction du maître d'école et l'atelier de l'Office National des Forêts. L'expérimentation devrait être étendue à l'ensemble du village.

Financement ADEME : 72 597 € sur trois ans d'exploitation. Coût total du projet : 306 106 €. **Calendrier** : début en 2017, fin de l'expérimentation en 2021.

À l'échelle des infrastructures gazières métropolitaines

L'hydrogène pourra aussi à l'avenir se substituer au gaz naturel présent dans les infrastructures gaz. C'est ce qu'on appelle le Power-to-gas. Deux voies sont envisagées :

- le développement de canalisations dédiées à l'hydrogène pur. Une partie des canalisations actuelles de gaz naturel pourraient être transformées pour accueillir cet hydrogène ;
- l'injection, dans les canalisations gaz existantes, de méthane de synthèse produit à partir d'hydrogène et de CO₂ par le procédé de méthanation.

Power-to-gas

Le Power-to-gas consiste à relier le réseau électrique au réseau gaz, à passer de l'un à l'autre, en convertissant de l'électricité en hydrogène ou en méthane de synthèse, qui sera injecté dans les infrastructures gazières. Ce principe permet de stocker cette énergie initialement électrique sur une longue durée ou l'utiliser directement sous forme de gaz.

ENERGIE

Le méthane de synthèse produit à partir d'hydrogène, peut être fabriqué dans les unités de production de biométhane, qui rejettent du CO₂. Grâce à un procédé de méthanation catalytique ou biologique, l'hydrogène et le CO₂ produisent un méthane de synthèse qui peut être injecté dans les réseaux de gaz ou utilisé directement, pour la mobilité par exemple.



Nous croyons fortement à l'intérêt de hubs permettant des usages multiples de l'hydrogène, élément essentiel dans la régulation de l'utilisation des énergies renouvelables.



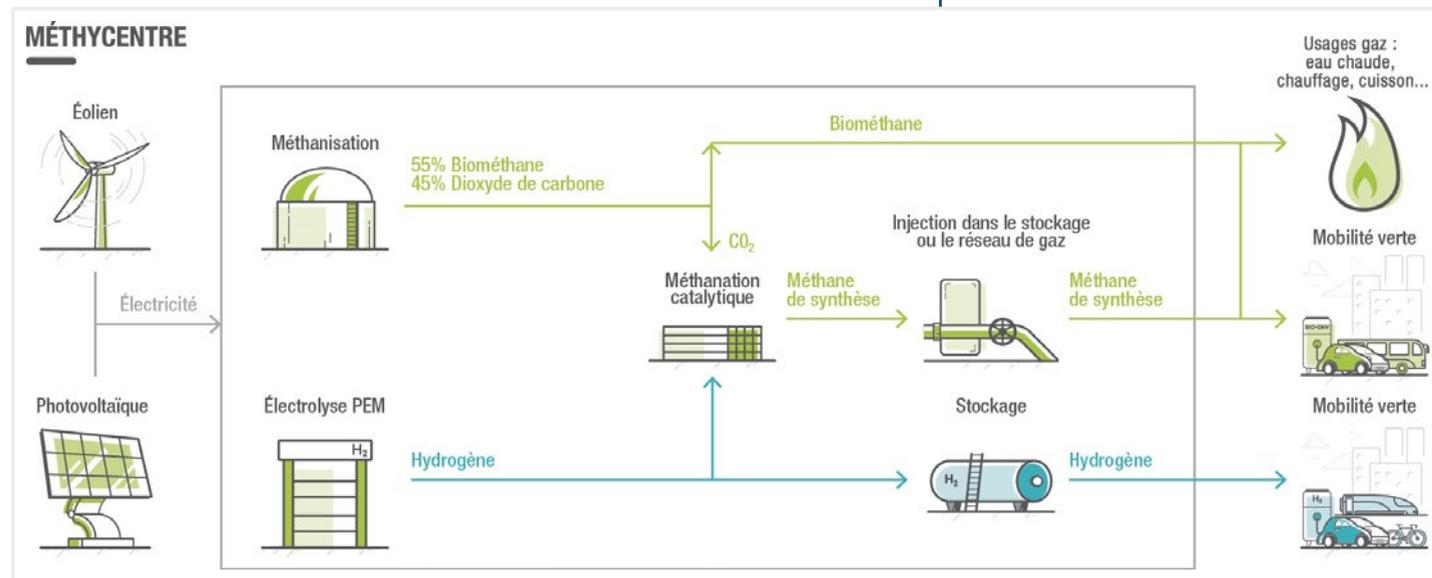
Diane Defrenne
Pilote et intégrateur du projet Méthycentre chez Storengy

Méthycentre

cumule deux utilisations de l'hydrogène

Storengy, filiale d'Engie, expérimente un démonstrateur Power-to-gas à Céré-la-Ronde en région Centre Val-de-Loire. De l'hydrogène est produit par électrolyse à partir d'électricité. Une partie de cet hydrogène sera utilisée pour la valorisation du CO₂ issu de la méthanisation de déchets agricoles, en méthane de synthèse via un procédé de méthanation catalytique. Une autre partie sert au ravitaillement de véhicules légers avec l'installation sur le site d'une station mobilité hydrogène. Le projet innovant contribue à l'émergence d'un industriel intégrateur et exploitant dans le domaine du Power-to-gas et à la structuration d'une filière de composants français (méthaneur, purification de gaz renouvelables, composants innovants pour électrolyseurs).

Financement ADEME : 2,6 M€. Coût total du projet : 9,5 M€.
Calendrier : expérimentation sur 5 ans démarrée en juillet 2018.



Alstom Hydrogène, acteur de premier plan dans la production de piles à hydrogène et de systèmes intégrés

Filiale du groupe Alstom basée à Aix-en-Provence, Alstom Hydrogène conçoit, développe et fabrique des piles à hydrogène 100 % « made in France » pour des applications stationnaires (sites industriels, sites isolés, alimentation électrique temporaire...) et de mobilité (transport maritime, fluvial, ferroviaire, routier lourd, frigorifique...). Alstom Hydrogène a entamé sa mutation industrielle et produit désormais en série des systèmes complets : les FC Racks. Cette évolution répond à une logique de définition de produits standardisés, basée sur des briques élémentaires, permettant de garantir la réduction des coûts et la reproductibilité de composants. Ces briques d'une puissance unitaire de 175 kW peuvent être mises en parallèle et ainsi atteindre une puissance totale de plusieurs Mégawatts.



Avec notre positionnement de fabricant industriel de stacks et de piles à hydrogène forte puissance, nous prenons une place importante dans la chaîne de valeur hydrogène.



Benoît Vesly
Directeur général délégué Alstom Hydrogène

ECOSYSTEMES



DYNAMISER LES ÉCOSYSTÈMES TERRITORIAUX

Les projets d'hydrogène renouvelable et bas carbone s'appuient sur des écosystèmes qui identifient les besoins, impliquent les acteurs locaux et contribuent aux stratégies régionales pour la transition écologique.

La pertinence du vecteur hydrogène se révèle au niveau local : valorisation des énergies renouvelables, interconnexion et flexibilité des réseaux énergétiques, valeurs ajoutées dans différents usages (mobilité, industrie, autoconsommation). Les Directions régionales de l'ADEME accompagnent en ce sens les porteurs de projets, industriels et collectivités territoriales.

Des partenariats entre les collectivités et les industriels rapprochent la production et l'utilisation de l'hydrogène à l'échelle des territoires. Ils créent un équilibre entre l'émergence de l'offre d'hydrogène et le développement des usages, en consolidant les modèles économiques et en définissant les meilleurs schémas logistiques.

Dans le domaine de la mobilité, par exemple, le coût d'achat de l'hydrogène au kg à la station-service doit être « acceptable ». Cela passe par un écosystème pertinent entre des unités de production au plus près des lieux de consommation, et des volumes minima de consommation, que permet la mutualisation des infrastructures.

Morbihan Énergies

stimule la demande avec Hygo



Jo Brohan
Président de
l'établissement public
Morbihan Énergies

Nous sollicitons les communautés de communes et d'agglomérations, en leur proposant d'installer une borne d'avitaillement sur leur territoire, que nous pourrions alimenter avec de l'hydrogène décarboné et renouvelable. En échange, elles contribuent au lancement de la filière en favorisant l'usage par l'achat d'équipements de type benne à ordures ménagère ou bus à hydrogène.

Le projet Hygo Vannes, piloté par le syndicat Morbihan Énergies et Engie consiste à adosser un électrolyseur à un process industriel. Michelin consommera une partie de la production : 50 kgH₂ / jour sur 270 kg produits. Le reste sera utilisé pour la mobilité, avec une borne d'avitaillement ouverte aux véhicules lourd et légers, pour différents usages en mobilité professionnelle (ambulances, véhicules sanitaires légers, taxis).

Financement ADEME : 780 k€ pour le développement d'une infrastructure de production et de distribution d'hydrogène et 992 k€ pour accompagner les futurs acquéreurs de véhicules hydrogène utilisant cette station de recharge. Coût total du projet : 4,7 M€.

Calendrier. Mise en service en octobre 2021.



HyPort

développe l'hydrogène renouvelable et bas carbone en Occitanie

Engie et la Région Occitanie ont créé la société HyPort pour développer des écosystèmes duplicables, cumulant des usages de l'hydrogène pour l'industrie et la mobilité. Le premier projet se situe à l'aéroport de Toulouse-Blagnac, afin d'implanter une station de production et de distribution d'hydrogène renouvelable au service à la fois de la mobilité (bus entre l'aérogare et les avions, ainsi que vers les parkings éloignés, véhicules utilitaires, flottes captives...), et des applications aéronautiques et industrielles.

Financement ADEME à hauteur de 5,249 M€ : 1,89 M€ sur les volets production et distribution et 3,359 M€ sur le volet usages de mobilité, afin de compenser la différence de coût entre les véhicules hydrogène et thermique. Coût total du projet : 6,8 M€ pour les infrastructures de production et distribution. Les véhicules sont achetés par les futurs usagers.

Calendrier : mise en service fin 2021.



Caroline Dauteuille
Responsable des
Opérations
Hydrogène chez
Engie Solutions



L'ADEME a été impliquée dès le départ dans les études de faisabilité et la définition du programme qui ont abouti à la création de HyPort. Nous avons ensuite été le premier lauréat de l'Appel à Projets Écosystèmes de mobilité hydrogène, pour le projet de Toulouse-Blagnac.



FINANCER



AGIR POUR LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Opérateur du Plan France Relance et du Programme d'investissements d'avenir (PIA), l'ADEME aide les entreprises et les collectivités à accélérer leur transition écologique.

Les aides portent sur les investissements et les équipements permettant le déploiement, dans les territoires, de l'usage de l'hydrogène renouvelable et bas carbone pour l'industrie et la mobilité d'une part (275 M€), et sur les projets d'innovation d'autre part (350 M€). Les fonds s'intègrent dans la stratégie hydrogène du Gouvernement annoncée en septembre 2020.

2018-2020

Soutien de l'ADEME à des projets sur l'hydrogène

Fin 2020, l'ADEME avait contribué au financement de 46 projets, aidés à hauteur de 161 M€. 101 M€ sont issus de fonds propres de l'ADEME, dédiés principalement au déploiement des écosystèmes de mobilité dans les territoires (98 M€) et 60 M€ proviennent du Programme d'investissement d'avenir (PIA) opéré par l'ADEME.

<https://bibliothèque.ademe.fr/recherche-et-innovation/4024-bilan-de-la-thematique-hydrogene-et-power-to-gas-du-programme-d-investissements-d-avenir-pia-9791029716324.html>



2021

Appel à projets « Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène »

Soutien des travaux d'innovation, permettant de développer ou d'améliorer les composants et systèmes liés à l'hydrogène et à ses usages.



Accompagnement de tests, expérimentations, démonstrations. Instruction au fil de l'eau.

Clôture au 31 décembre 2022.

<https://agirpourlatransition.ademe.fr/entreprises/dispositif-aide/20201013/inodemo-h22020-176>



2021

Appel à projets « Écosystèmes territoriaux hydrogène »

Il vise à faire émerger les infrastructures de production d'hydrogène bas carbone et renouvelable, alimentant des usages de cet hydrogène dans le domaine de la mobilité ou de l'industrie. Cet appel est doté de 275 M€ pour la période 2021-2023, dont 75 M€ de financements France Relance.

À travers cet appel à projet, l'ADEME soutient également la consolidation de la filière industrielle française Hydrogène (fabricants ou assembleurs de véhicules, équipementiers, fabricants d'électrolyseurs et de piles à combustible, réservoirs, stations-service...) de façon complémentaire aux autres dispositifs prévus dans le cadre de la stratégie nationale hydrogène.

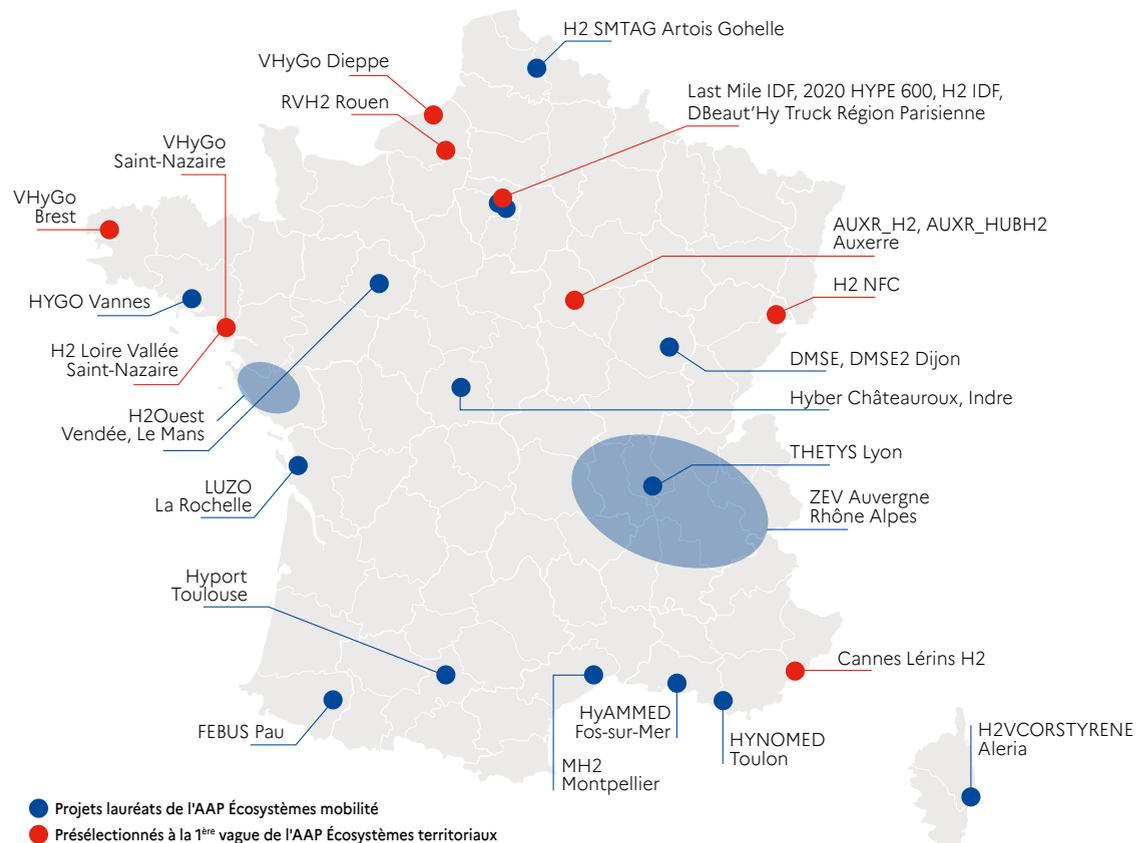
Les premières clôtures de l'appel à projets courant 2021 ont confirmé la dynamique très forte du déploiement de la thématique de l'hydrogène, avec une trentaine de projets candidats pour plus d'1 Mds€ d'investissement prévisionnel.

Les projets concernent des usages de mobilité lourde : bus, bennes à ordures ménagères, véhicules utilitaires, bateaux. Ils visent aussi à décarboner des usages actuels de l'hydrogène dans les bassins industriels français.

Ils mobilisent de nombreux acteurs publics (collectivités, régies, syndicats d'énergie) comme privés (énergéticiens, exploitants, opérateurs de transports, industriels), avec l'émergence de projets structurants.

FINANCER

La carte présente les 19 écosystèmes déjà en déploiement, auxquels s'ajouteront les projets présélectionnés aux clôtures du nouvel appel à projets.



La quasi-totalité des régions françaises est impliquée, sur le territoire métropolitain comme en Corse et Outre-Mer. L'ADEME a proposé aux Régions de s'associer à la dynamique de déploiement de ces écosystèmes sur leur territoire. La plupart des Conseils régionaux ont répondu favorablement à ce partenariat, par lequel l'ADEME et les partenaires s'engagent à favoriser le cofinancement des projets qui seraient conjointement jugés pertinents.

<https://agirpoulatransition.ademe.fr/entreprises/dispositif-aide/20201013/ecosysh22020-165>

Cette dynamique s'inscrit dans la suite des premiers appels à projets de l'ADEME sur la mobilité hydrogène lancés depuis 2018. Dans ce cadre, 19 écosystèmes ont ainsi été soutenus par l'ADEME.

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME – l'Agence de la transition écologique – nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, gaspillage alimentaire, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

Les collections de L'ADEME

- ILS L'ONT FAIT**
L'ADEME catalyseur :
Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.
- EXPERTISES**
L'ADEME expert :
Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.
- FAITS ET CHIFFRES**
L'ADEME référent :
Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.
- CLÉS POUR AGIR**
L'ADEME facilitateur :
Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.
- HORIZONS**
L'ADEME tournée vers l'avenir :
Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

DÉVELOPPER L'HYDROGÈNE RENOUVELABLE ET BAS CARBONE

L'ADEME accompagne la filière hydrogène française dans son développement.

Ce document en aborde les différents axes :

- la production d'hydrogène renouvelable et bas carbone ;
- son utilisation pour :
 - favoriser une mobilité lourde à faible émission,
 - décarboner l'industrie,
 - optimiser la production d'énergie ;
- la constitution d'écosystèmes locaux, permettant de mutualiser la production et la consommation de l'hydrogène à l'échelle des territoires.

L'enjeu est de permettre une baisse significative des coûts de production pour favoriser un passage rapide à l'échelle industrielle.

L'ADEME est opérateur du Plan France Relance, du Programme d'investissements d'avenir et partenaire historique de la filière hydrogène.

Vecteur d'énergie, l'hydrogène contribuera activement à la transition écologique. Lorsqu'il est produit à partir d'énergies renouvelables, ses impacts sur l'environnement sont moindres que ceux générés par les énergies fossiles qu'il remplace. Le déployer dans des secteurs à forts enjeux comme l'industrie ou les transports aidera la France à atteindre son objectif de neutralité carbone en 2050.

