

L'HYDROGÈNE RENOUVELABLE

UNE RÉPONSE AUX ENJEUX
CLIMAT, AIR, ÉNERGIE
EN ÎLE-DE-FRANCE



AREC
AGENCE RÉGIONALE
ÉNERGIE-CLIMAT

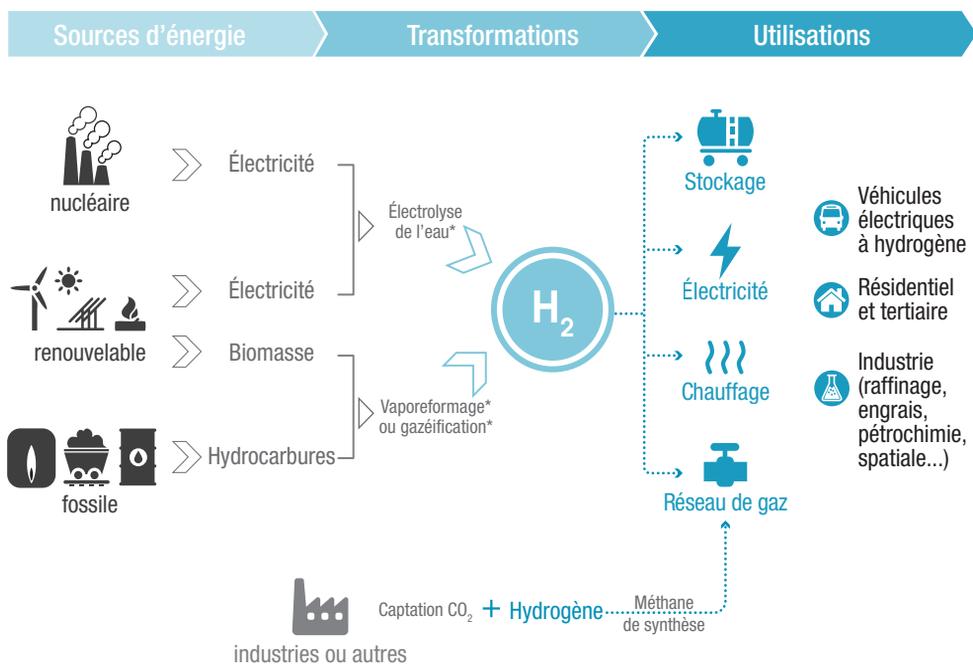
 **CLUB
HYDROGÈNE**
d'Île-de-France

L'HYDROGÈNE, VECTEUR ÉNERGÉTIQUE D'AVENIR

L'hydrogène est l'élément chimique le plus présent dans l'univers : on le trouve dans l'eau, le gaz, le pétrole, le charbon ou la biomasse. Pour l'extraire sous sa forme exploitable le dihydrogène H_2 , il faut un apport en énergie. L'hydrogène n'est donc pas une source d'énergie mais un vecteur énergétique. Nécessaire dans les process industriels (raffinage et pétrochimie, engrais...), son utilisation en tant que vecteur énergétique n'est que récente en raison de contraintes physiques (stockage, transport, rendement) et de choix technologiques passés et présents. L'hydrogène est actuellement produit majoritairement à partir des énergies fossiles par vaporeformage ou par gazéification, générant d'importantes émissions de gaz à effet de serre et consommations énergétiques. Mais aujourd'hui, l'électrolyse de l'eau à partir d'électricité renouvelable et bas carbone se développe.

Auparavant classé par couleur selon son origine (gris, vert, bleu...), l'hydrogène

est dorénavant défini selon des seuils d'émissions de CO_2 par unité produit comme étant renouvelable, bas-carbone ou carboné, par l'ordonnance du 17 février 2021. L'hydrogène renouvelable et bas-carbone a de nombreux cas d'usages : en premier lieu la substitution de celui carboné dans l'industrie, puis le transport de personnes et de marchandises par des flottes captives (bus, camions, véhicules utilitaires...), en complément de la batterie. Dans un véhicule, l'hydrogène alimente une pile à combustible qui le transforme en électricité. Les avantages sont une grande autonomie, une rapidité d'avitaillement, un faible bruit et une absence d'émissions atmosphériques hormis de la vapeur d'eau. L'hydrogène constitue une des voies de stockage massif des énergies renouvelables intermittentes et apporte des services au système énergétique (équilibre des réseaux électriques, injection dans le réseau gaz, smart grid, alimentation électrique d'appoint...).



*Électrolyse de l'eau : réaction chimique de décomposition de l'eau en dioxygène et en dihydrogène par électrolyseur alimenté en électricité.

*Vaporeformage : réaction du méthane avec de la vapeur d'eau à haute température pour produire du monoxyde de carbone (ou du CO_2 , selon la production) et du dihydrogène.

*Gazéification : transformation à haute température d'un solide combustible carboné (charbon, biomasse) en un gaz synthétique (syngaz), composé de monoxyde de carbone et de dihydrogène.

EN QUOI L'ÎLE-DE-FRANCE EST UN TERRITOIRE DE CHOIX POUR L'HYDROGÈNE ÉNERGIE ?

Région économique de premier plan, dotée de nombreux hubs de logistique terrestres et fluviaux, l'Île-de-France est un territoire de choix pour la démonstration, l'accélération et la massification des solutions hydrogène. Les enjeux majeurs de qualité de l'air, de transition énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre (en particulier par les transports routiers), et la présence de grands groupes industriels et énergétiques, de nombreuses entreprises de la filière et de centres de recherche de rang international plaident au déploiement de l'hydrogène en Île-de-France. Combiné avec un développement important d'énergies renouvelables (dont l'électricité issue sera nécessaire pour produire l'hydrogène et de l'électricité bas carbone), l'hydrogène devient ainsi un levier de transition énergétique et de développement économique et industriel du territoire.

Le déploiement des Zones à Faibles Emissions (Paris et Métropole du Grand Paris) et à terme la sortie des véhicules thermiques nécessitent de déployer des infrastructures et des solutions à faibles émissions (GNV/BioGNV) et très faibles émissions (hydrogène, batteries) en fonction des usages et des cibles. L'horizon des Jeux Olympiques et Paralympiques en 2024, premiers Jeux neutres en carbone, offrira une vitrine aux solutions hydrogène pour le transport des athlètes et des spectateurs (taxis, VTC, bus, navette fluviale...) et l'approvisionnement électrique (groupes électrogènes à hydrogène). À plus long terme, la perspective de l'avion hydrogène amène les acteurs aéroportuaires à préparer dès maintenant les trois aéroports franciliens comme des hubs de déploiement de l'hydrogène d'abord à terre (logistique au sol) puis dans les airs.



FenHYx, plateforme de recherche et de test d'injection d'hydrogène dans les infrastructures gazières, du Centre de recherche et développement dédié au gaz renouvelable RICE (Research & Innovation Center for Energy) de GRTgaz à Alfortville (94) inaugurée en novembre 2021.

LE RÔLE DES TERRITOIRES

Le déploiement de l'hydrogène passe par des écosystèmes territoriaux hydrogène, où l'hydrogène est produit localement à partir de sources renouvelables et bas carbone, distribué et utilisé par plusieurs utilisateurs du territoire partageant les investissements et les risques financiers. Dans le cadre de leurs politiques air, énergie climat, mobilités ou développement économique, les collectivités territoriales dis-

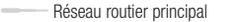
posent de plusieurs leviers pour porter ou faciliter des projets : réalisation d'un état des lieux du territoire (mobilité, énergie, industrie, ...), mise en relation des acteurs et recherche d'utilisateurs, acquisition de véhicules utilitaires, bennes à ordures ménagères ou bus à hydrogène, appui à la recherche du foncier ou portage pour les installations, sensibilisation du grand public, participation à des sociétés de projet.

Station hydrogène

-  Existante
-  En projet *
-  Projets hydrogène territoriaux

 Zone à faibles émissions (ZFE)

 Zone logistique

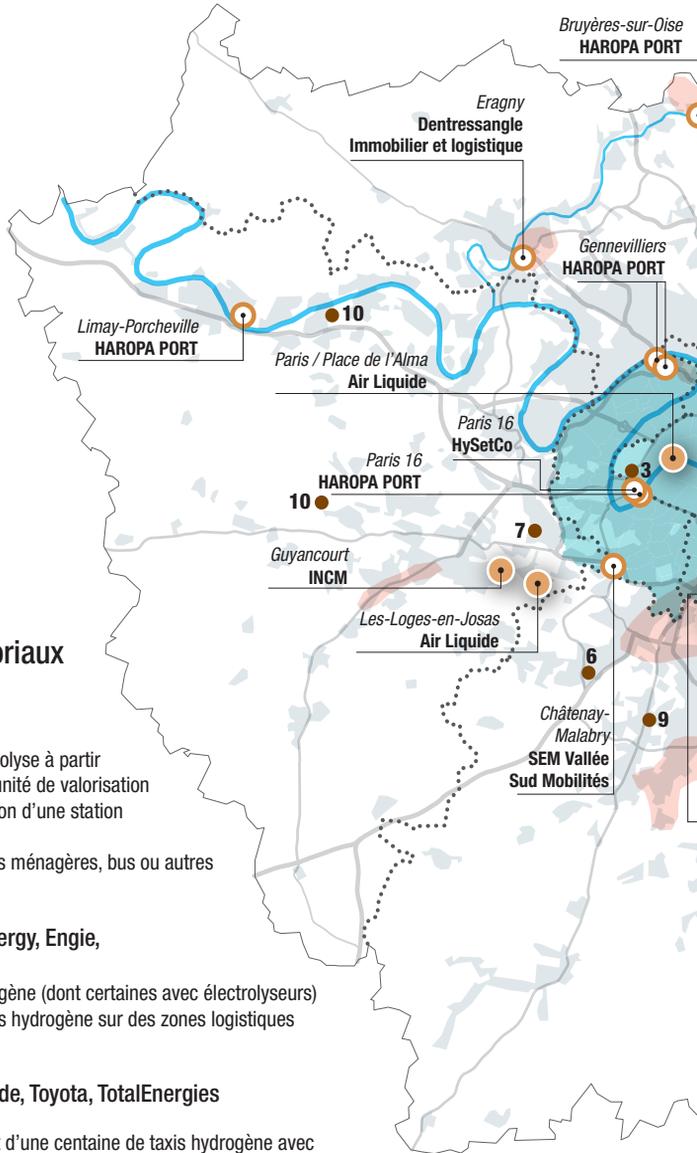
 Réseau routier principal

 Zone urbaine

 Réseau hydrographique

 Limite de département

** Niveau d'avancement différent*



Les projets hydrogène territoriaux



1 • H2 Créteil / SIPPPEC, SIPeN, Suez (Créteil, 94)

Production d'hydrogène par électrolyse à partir d'électricité de récupération de l'unité de valorisation énergétique de Créteil et installation d'une station de distribution.

Usages pour des bennes à ordures ménagères, bus ou autres véhicules utilitaires du territoire.



2 • Last Mhyle IDF / Akuo Energy, Engie, SIGEIF Mobilités (Île-de-France)

Déploiement de 16 stations hydrogène (dont certaines avec électrolyseurs) et de flottes de véhicules utilitaires hydrogène sur des zones logistiques en Île-de-France.



3 • HySetCo / HYPE, Air Liquide, Toyota, TotalEnergies (Île-de-France)

Expérimentation puis déploiement d'une centaine de taxis hydrogène avec des premières stations à l'occasion de la COP21. Objectif à court terme de 600 taxis et stations associées de plusieurs centaines de kilos par jour, dont certaines avec production d'hydrogène par électrolyse.



4 • FenHYx / GRTgaz (Alfortville, 94)

Développement d'une plateforme de recherche et d'essai FenHYx sur l'injection d'hydrogène dans les réseaux gaz, opéré par le centre de recherche et d'innovation RICE de GRTgaz.



5 • PP6 / NCS Pyrotechnie et technologies (Survilliers, 95)

Développement et industrialisation d'un nouveau système pyrotechnique de sécurité pour pile à combustible sur le site de Survilliers, soutenu par le Fonds de modernisation automobile et aéronautique.



6 • Électrolyseur PEM / Elogen H2 (Les Ulis, 91)

Industrialisation d'une ligne de fabrication d'électrolyseurs PEM (membrane échangeuse de protons) pour l'industrie et la mobilité, recherche et développement sur la performance énergétique et les matériaux.



7 • Expérimentation de bus hydrogène / Île-de-France Mobilités, 3Emotion, CA Versailles Grand Parc, SAVAC, BE Green, Air Liquide (Versailles, Les Loges-en-Josas, 78)

Expérimentation de 7 bus hydrogène en milieu urbain et périurbain dans le cadre du projet européen 3Emotion par Île-de-France Mobilités avec la Communauté d'agglomération de Versailles Grand Parc et deux transporteurs, Savac et BE Green. Avitaillement en hydrogène sur la station d'Air Liquide aux Loges-en-Josas.



8 • AMI H2 Hub Airport / Région Île-de-France, Air France, Airbus (Roissy et Orly)

Lancement en 2021 d'un appel à manifestation d'intérêt international (AMI) par la Région, Choose Paris Region, le Groupe ADP, Air France offertes par l'hydrogène sur les aéroports et perspectives de l'avion hydrogène.



9 • GEH2 / EODev, Eneria CA (Flins, Villiers Saint-Frédéric, 78)

Création sur le site industriel d'Eragny-sur-Oise de GEH2, groupes électrogènes à hydrogène par Toyota. Partenariat avec LOXAM pour les chantiers et l'évènementiel.



10 • HyVia / Renault, Plug Power (Flins, Villiers Saint-Frédéric, 78)

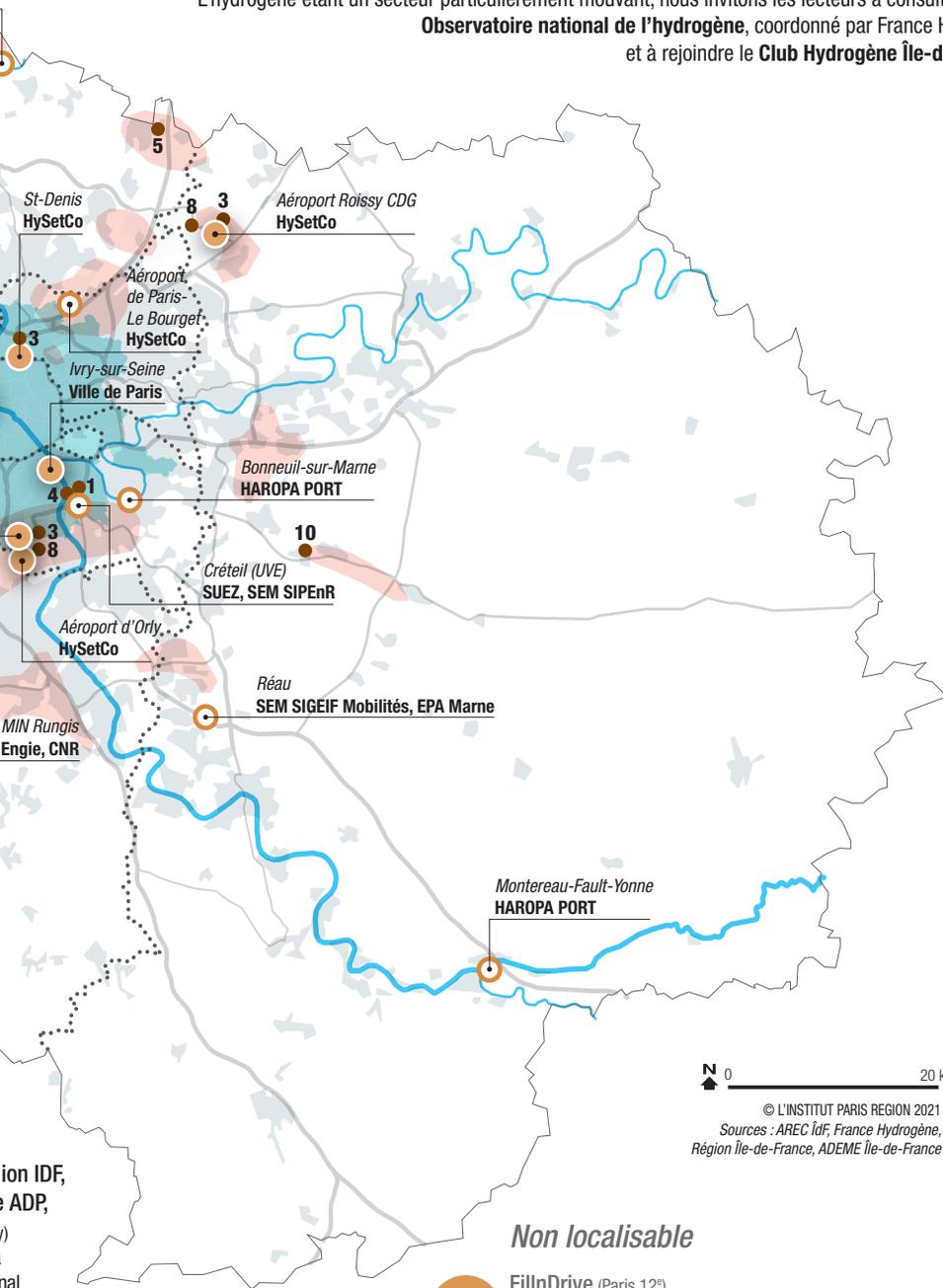
Co-entreprise entre le Groupe Renault et Plug Power pour développer une gamme de véhicules utilitaires à hydrogène et de stations de recharge de stations et d'hydrogène renouvelable. Assemblage des équipements dans le site à Villiers-Saint-Frédéric et savoir-faire à Gretz-Armainvilliers.



PANORAMA DES PROJETS HYDROGÈNE EN ÎLE-DE-FRANCE

Cette carte, non exhaustive, illustre la diversité des projets et le maillage du territoire. Elle met en avant les usages en mobilité (et stations associées) ainsi que les projets de R&D et d'industrialisation en région.

Certains des projets sont des expérimentations, d'autres du déploiement de solutions. L'hydrogène étant un secteur particulièrement mouvant, nous invitons les lecteurs à consulter **Vig'Hy, Observatoire national de l'hydrogène**, coordonné par France Hydrogène et à rejoindre le **Club Hydrogène Île-de-France**.



© L'INSTITUT PARIS REGION 2021
Sources : AREC îdF, France Hydrogène, Région Île-de-France, ADEME Île-de-France



Non localisable



FillnDrive (Paris 12^e)

Développement d'une gamme de produits logiciels répondant aux besoins de l'écosystème hydrogène : supervision des infrastructures de production et de distribution, interopérabilité du service d'identification ou de paiement, supervision de flottes de véhicules.



H2Ships / EDF, Sictom, CEMEX, HAROPA Port

(Paris, Île-de-France, bassin de la Seine)

Projet européen visant à démontrer la faisabilité technico-économique de l'hydrogène pour la propulsion pour la navigation fluviale, avec expérimentation de bateaux hydrogène sur l'axe Seine et schéma d'avitaillement dans les infrastructures portuaires.



R Soutien de la Région Île-de-France via différents dispositifs (AAP Innovation et structuration de la filière hydrogène, AAP Electricité renouvelable et production d'hydrogène, Aides véhicules propres...) ou l'action d'Île-de-France Mobilités



A Soutien de l'ADEME via les AAP Écosystèmes de mobilité hydrogène (2019), Écosystèmes territoriaux hydrogène (2020, 2021), dispositif Entreprise Engagée pour la Transition Écologique

...-KLM et Airbus pour explorer les opportunités
...aéroports franciliens (logistique au sol
...ène). Onze lauréats ont été retenus.

...T, Loxam Rental (Monthéry, 91)
...theria à Monthéry d'une ligne de production
...hydrogène d'EODev avec une pile à combustible
...Rental, intégrant le GEH2 dans son offre de location
...tiel en Île-de-France et ailleurs.

...Power, PVI (groupe Renault)
...z-Armainvilliers, 77)
...ault et Plug Power visant à commercialiser
...es hydrogène (Master) et la fourniture
...velable ou bas carbone.
...ns l'usine Re-Factory de Flins, siège et R&D
...faire d'intégration avec la filiale PVI

LES ENJEUX POSÉS PAR LE DÉPLOIEMENT DE L'HYDROGÈNE

Sécurité

L'hydrogène est largement manipulé dans l'industrie depuis plus d'un siècle. Sa dangerosité et les risques associés sont aujourd'hui connus et maîtrisés dans ce secteur. Son utilisation en vecteur énergétique en mobilité diffuse nécessite de transférer les compétences industrielles et de capitaliser sur celles acquises dans le GNV (carburant gazeux à haute pression), d'appréhender ces risques lors de l'élaboration des projets, de l'exploitation des installations et de travailler à la formation des acteurs. Il s'agit, en parallèle, de démontrer auprès du grand public les avantages de l'hydrogène pour faciliter l'acceptabilité sociale.

Energies fossiles et gaz à effet de serre

L'hydrogène est aujourd'hui principalement produit à partir de vaporeformage du gaz naturel en France (charbon et pétrole dans d'autres pays) générant d'importantes émissions de gaz à effet

de serre (3 % des émissions françaises totales). La production d'1 kg d' H_2 génère près de 11 kg de CO_2 équivalent. L'objectif principal de la France est de décarboner cet hydrogène industriel via l'électrolyse de l'eau à partir d'électricité renouvelable et bas carbone. D'autres voies sont possibles, comme la captation de CO_2 issu du vaporeformage du gaz ou la gazéification de biomasse.

Rendement

L'hydrogène nécessite d'être produit, stocké, compressé ou liquéfié, transporté avant d'être utilisé, chaque étape impactant le rendement énergétique de la chaîne. L'amélioration des équipements et la valorisation des coproduits (chaleur, oxygène de l'électrolyseur, vapeur d'eau de la pile à combustible) permettent d'augmenter ce rendement. Une production in situ ou à proximité des sites consommateurs comme les stations réduit le transport. À terme, des infrastructures dédiées pourront assurer le transport de masse.

Coûts

L'hydrogène renouvelable et bas carbone coûte cher, c'est un fait. Pour réduire les coûts, les acteurs publics et les industriels recherchent un équilibre entre offre et demande en activant plusieurs leviers :

- En amont, baisse des coûts des énergies renouvelables, effets d'échelle liés à l'industrialisation, production locale pour réduire le transport, auxquels s'associent des mécanismes de soutien à l'hydrogène renouvelable et bas carbone pour le rendre compétitif par rapport au carboné, déjà amorti dans l'industrie.
- En aval, effets d'échelle des solutions, mutualisation de l'investissement dans les stations, sécurisation des usages, bonus sur les véhicules ou encore conversion de véhicules thermiques (retrofit).

Ces stratégies de réduction de coûts et de soutien aux producteurs et consommateurs visent une compétitivité de l'hydrogène dans la décennie 2030 par rapport aux solutions fossiles.



Utilisation du $GE H_2$ d'EODev, groupe électrogène à hydrogène, pour un chantier CPCU avec Loxam et la ville de Paris.

LA STRATÉGIE NATIONALE HYDROGÈNE

La France a lancé le 8 septembre 2020 la stratégie nationale pour le développement de l'hydrogène décarboné dans le cadre du plan de relance et confortée par le plan d'investissement France 2030, après un premier plan dédié en 2018. Dotée de 9 milliards d'euros d'investissement d'ici 2030, auxquels s'ajoutent des fonds européens, la stratégie vise à décarboner l'industrie en faisant émerger une filière française de l'électrolyse, à développer la mobilité

lourde à l'hydrogène et à soutenir la recherche, l'innovation et les compétences. Souverainetés énergétique et technologique, écosystèmes territoriaux, réindustrialisation, innovation sont les maîtres mots de la vision française. L'ADEME est en charge des deux principaux appels à projets :

- Écosystèmes territoriaux d'hydrogène
- Briques technologiques et démonstrateurs hydrogène.

ÎLE-DE-FRANCE TERRITOIRE HYDROGÈNE

Consciente de la place pivot de l'hydrogène pour répondre aux enjeux régionaux climat, air, énergie, la Région a voté la délibération Île-de-France Territoire Hydrogène en novembre 2019. Celle-ci, en complément de dispositifs de la Stratégie énergie climat, du Plan fret et du Plan Changeons d'air, vise à structurer la filière hydrogène avec la mise en place d'un appel à manifestation d'intérêts pour la filière hydrogène et la création du Club Hydrogène Île-de-France à

destination des acteurs de la filière et des collectivités territoriales. Concernant la production, la Région privilégie la production d'hydrogène renouvelable, avec un appel à projets dédié. Les usages seront essentiellement ceux de la mobilité terrestre et fluviale, pour des flottes captives destinées au transport des personnes et des marchandises, avec par exemple l'expérimentation de premiers bus hydrogène par Île-de-France Mobilités.

Ambition pour la mobilité hydrogène en Île-de-France

	2020	2025	2030	2050
Nombre de véhicules légers	680	6300	16000	1 125 000
Nombre de véhicules lourds	2	1000	2500	37000
Nombre de stations publiques et privées	10 stations publiques	18 stations publiques 14 stations privées	35 stations publiques 15 privées	300 stations publiques 50 privées
Volume d'hydrogène distribué	0,4 kt/an (gaz)	7 kt/an (gaz)	16 kt/an (gaz et liquide)	350 kt/an (gaz et liquide)
Puissance installée d'électrolyseur	4 MW	75 MW	165 MW	3000 MW

Source : « Ambition hydrogène décarboné 2050 » SIPPEREC, ADEME Île-de-France, Ville de Paris et Région Île-de-France, 2020

CHIFFRES CLÉS NATIONAUX ET EUROPÉENS

Source France Hydrogène, Gouvernement, Commission européenne, 2020

780 000 tonnes

d'hydrogène utilisées en 2019 en France, majoritairement produits par vaporeformage de gaz naturel

6,5 GW

d'électrolyseurs installés en France en 2030 (objectif de la France)

12 à 14 %

d'hydrogène dans le mix énergétique de l'Europe en 2050 (Stratégie de l'hydrogène pour une Europe climatiquement neutre)

LE CLUB HYDROGÈNE ÎLE-DE-FRANCE FÉDÈRE ACTEURS DE LA FILIÈRE ET COLLECTIVITÉS

Le Club Hydrogène Île-de-France, créé à l'initiative de la Région, en partenariat avec la DRIEAT, l'ADEME Ile-de-France, France Hydrogène et l'AREC ÎdF qui en assure la coordination, a été lancé en 2020. Avec plus d'une centaine de membres, il met en lien les acteurs économiques, institutionnels et les collectivités et mène un travail d'acculturation autour des enjeux et des solutions.

En fédérant les initiatives, le club agit pour accélérer le déploiement de projets hydrogène sur le territoire. Le Club propose des événements, ateliers d'échanges, produit des connaissances, diffuse les actualités et permet des collaborations entre acteurs.

Pour en savoir plus : www.arec-idf.fr/nos-reseaux/club-hydrogene-ile-de-france/



AREC
AGENCE RÉGIONALE
ÉNERGIE-CLIMAT



AREC, DÉPARTEMENT ÉNERGIE CLIMAT DE L'INSTITUT PARIS REGION

L'AREC Île-de-France a pour objectif de faciliter et d'accélérer la transition énergétique et l'adaptation au changement climatique en assistant les collectivités et autres acteurs franciliens.

Ses quatre axes d'intervention sont :

- Observation et production de connaissances
- Appui à l'élaboration des politiques publiques franciliennes
- Accompagnement des démarches et projets de territoires
- Acculturation et formation des acteurs



AREC
AGENCE RÉGIONALE
ÉNERGIE-CLIMAT



www.arec-idf.fr



AREC, département de L'Institut Paris Region

15, rue Falguière

75740 Paris cedex 15

contact.arec@institutparisregion.fr

01 77 49 77 49

Janvier 2022

978-2-7371-2235-4

Directeur de la publication : Fouad Awada | **Rédaction :** Thomas Hemmerdinger, AREC ÎdF | **Contributions :** Région Île-de-France, ADEME Île-de-France, DRIEAT Île-de-France, France Hydrogène | **Mise en page :** Agnès Charles | **Impression :** IMS Pantin

Crédit photographique de la couverture : T. Hemmerdinger/L'Institut Paris Region