



# ACTU

## LE HORS-SÉRIE

des Professionnels de l'Énergie

# ENVIRONNEMENT

15 € - Mai 2022

# L'HYDROGÈNE CHANGE D'ÉCHELLE

sydev  
vendée Energie

BIOGNV 14.16  
ÉLECTRICITÉ VERTE TARIFF ABONNÉ 2.88  
HYDROGÈNE VERT CONTRACTUEL 2.88

Carte bancaire  
24 / 24

ÉLECTRICITÉ VERTE  
BIOGNV  
HYDROGÈNE VERT  
H<sub>2</sub>



### GRAND ANGLE

**Zoom sur  
4 stratégies  
régionales**  
p. 44

### INTERVIEW

**Hélène Burlet,  
du CEA**  
p. 14

### INDUSTRIE

**Les premiers projets  
de décarbonation  
prennent forme**  
p. 20

ISSN: 2648-5842 - Hors-série



# Agir pour l'énergie de demain

Elogen, l'expert de l'électrolyse PEM  
au service de la production d'hydrogène vert.

**elogen** | Empowering a sustainable world

Elogen, une société du groupe 

## ÉDITORIAL



© D.R.

# “ UNE OPPORTUNITÉ UNIQUE NOUS EST DONNÉE !

”  
**Philippe Boucly,**  
président de France Hydrogène

**A**ujourd'hui, plus de 30 pays dans le monde ont une stratégie hydrogène. Des partenariats et accords internationaux se nouent pour développer de grands projets et tracer les futures routes de l'hydrogène, esquissant ainsi une nouvelle géopolitique de l'énergie. En Europe, le développement de l'hydrogène est soutenu par un cadre réglementaire ambitieux, des outils puissants et un nouveau renforcement des ambitions, la guerre qui frappe sur le sol européen poussant à accélérer la sortie de la dépendance aux énergies fossiles.

**La France prend toute sa part dans cette dynamique internationale avec des objectifs clairement affichés :** disposer d'un vecteur supplémentaire dans notre mix énergétique pour décarboner massivement notre économie, renforcer notre indépendance et réindustrialiser le territoire national. Tirant parti de ses atouts, la France a fait le choix de développer sur son sol des capacités de production d'hydrogène et des capacités manufacturières d'équipements clés. Les premiers signaux sont encourageants : les financements publics et privés sont disponibles, les industriels couvrent l'ensemble de la chaîne de valeur avec des champions français identifiés, des projets se développent dans tous les territoires. La recherche, l'innovation, les professionnels de l'enseignement et de la formation ont pris la mesure des enjeux et sont mobilisés.

**Certes les défis sont élevés, les efforts à déployer importants, ils exigent un engagement de chacun et une collaboration de tous, car c'est une opportunité unique qui nous est donnée :** celle de participer à l'émergence d'une nouvelle filière industrielle. Une filière inclusive, créatrice de valeur et d'emplois, qui va nous permettre de réussir la transition vers un monde décarboné. Les pages qui suivent vont vous en convaincre. Bonne lecture ! ①

# SOMMAIRE

## STRATÉGIE

- 6** LE SOUTIEN À L'HYDROGÈNE DÉCARBONÉ SE CONFIRME EN FRANCE ET EN EUROPE
- 8** L'HYDROGÈNE EN 2050 : L'OUTIL INDISPENSABLE À LA NEUTRALITÉ CARBONE
- 10** INTERVIEW CETTE BRIQUE RÉPOND À L'ENJEU DE LA MOTORISATION PROPRE
- 14** INTERVIEW DES TECHNOLOGIES SONT DÉJÀ DISPONIBLES, MAIS LARGEMENT PERFECTIBLES

## INDUSTRIE

- 20** DÉCARBONATION DE L'INDUSTRIE : LES PREMIERS PROJETS PRENNENT FORME
- 24** UNE FILIÈRE EN ORDRE DE MARCHÉ
- 30** AVIS D'EXPERT HYDROGÈNE ET ÉCOSYSTÈMES PORTUAIRES : DES AMBITIONS CONVERGENTES AUTOUR D'ATOUTS ET D'ACTIFS COMMUNS
- 38** LE FRET ROUTIER SUR LA BONNE VOIE
- 44** IMPLANTATIONS TERRITORIALES, L'ÉCOSYSTÈME D
- 48** PAYS DE LA LOIRE : L'HYDROGÈNE VERT À LA POMPE

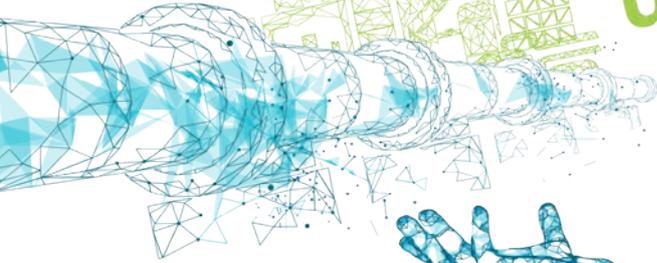
## EMPLOI-FORMATION

- 52** AVIS D'EXPERT DÉVELOPPER LES LES COMPÉTENCES ET LES MÉTIERS POUR RÉUSSIR LE DÉPLOIEMENT D'UNE INDUSTRIE STRATÉGIQUE ET CRÉATRICE D'EMPLOIS
- 54** LE RECRUTEMENT, FACTEUR LIMITANT POUR LA FILIÈRE
- 56** TROIS NOUVEAUX POINTS CHAUDS DE LA FORMATION
- 58** IL FAUT REPARLER D'INDUSTRIE DE MANIÈRE POSITIVE
- 60** LES MÉTIERS DE L'HYDROGÈNE SE DÉVOIENT





# Dunkerque, Territoire d'industrie décarbonée



## • Dunkerque

**150 KT/an de H<sub>2</sub>**

seront nécessaires à la concrétisation des projets de décarbonation sur le bassin industriel dunkerquois d'ici à 2030

**13,7 MT/an de CO<sub>2</sub>**

seront évitées dès 2050 grâce au déploiement du Hub CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub> de Dunkerque [référence : émissions 2019]

**1<sup>er</sup> Hub CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>**

français dédié à la décarbonation

**2050**

Dunkerque vise la neutralité carbone pour 2050

**+ de 3 milliards**

d'investissements et la création de + de 10 000 emplois

**1<sup>er</sup> port**

multimodal de France



Tout savoir sur le Hub H<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> de Dunkerque

## STRATÉGIE

## POLITIQUE

# LE SOUTIEN À L'HYDROGÈNE DÉCARBONÉ SE CONFIRME EN FRANCE ET EN EUROPE

— Si l'hydrogène décarboné avait créé la surprise à travers la place que lui ont accordé les plans de relance post-covid, force est de constater que la dynamique se poursuit et que les soutiens étatiques se confirment. Retour sur une actualité foisonnante.

« N

otre ambition, elle doit être très simple : la France doit être le leader mondial de l'hydrogène vert. » Tel est le quatrième des quatre piliers de la stratégie énergétique française

(avec le nucléaire, la réforme du marché européen de l'énergie et les énergies renouvelables, dans cet ordre), selon Bruno Le Maire. Le ministre de l'Économie, des Finances et de la Relance s'adressait en ces termes aux membres du Conseil national de l'hydrogène (CNH), réunis à Bercy, en septembre 2021, afin de dresser un premier bilan annuel de la Stratégie nationale de développement de l'hydrogène décarboné (SNDHD). Dévoilée un an plus tôt, elle prévoit de consacrer sept milliards d'euros de soutien public au déploiement d'une puissance d'électrolyseurs à hydrogène de 6,5 gigawatts (GW) d'ici à 2030. « Je ne dis pas que l'hydrogène est la solution à tout, a complété Bruno Le Maire. Je dis juste que l'hydrogène va nous permettre de remplir deux objectifs stratégiques qu'aucune autre forme énergétique ne nous permet de remplir (...) : la décarbonation des industries (et) le transport de masse. » Le soutien français à ce vecteur énergétique n'a donc pas faibli depuis 2020 et le lancement de la SNDHD. Il a même été renforcé au plus haut niveau en novembre 2021.

Lors d'un déplacement à Béziers, en novembre 2021, le président de la République, Emmanuel Macron, s'est rendu sur le site industriel de Genvia, en compagnie des ministres de l'Écologie, Barbara Pompili, et de l'Industrie, Agnès Pannier-Runacher. À cette occasion, le chef de l'État a annoncé la mise en œuvre d'un nouveau soutien financier en faveur du « continent nouveau » de l'hydrogène. « Si nous savons être les leaders de la production d'hydrogène de demain, alors

nous construirons aussi la souveraineté énergétique de la France, a déclaré Emmanuel Macron. C'est une bataille pour l'écologie, pour l'emploi, pour la souveraineté de notre pays que nous allons mener. »

## Deux milliards d'euros d'investissement supplémentaires

De l'enveloppe constituée pour répondre à la SNDHD, deux milliards d'euros ont déjà été débloqués, dans le cadre du plan de relance, et deux milliards complémentaires, au titre du nouveau plan d'investissement France 2030. Et aujourd'hui, en marge de ce budget de sept milliards d'euros, mais toujours au titre de France 2030, 1,9 milliard de « nouveaux crédits d'investissement », destinés à financer des projets de production d'hydrogène, viennent s'y ajouter. Environ 1,7 milliard d'euros soutiendront des projets industriels français au niveau européen. Quant au reste, il accompagnera des projets territoriaux. « Ce 1,9 milliard d'euros va nous aider à construire toute une filière », a affirmé le chef de l'État. « La France a les atouts pour devenir un leader de l'hydrogène renouvelable ou bas carbone, et se donne les moyens de ses ambitions », déclare avec satisfaction Philippe Boucly, président de France Hydrogène.

## Bruxelles veut doper le gaz vert

Le soutien à l'hydrogène se ressent également sur le plan européen. Après son paquet fit-for-55 présenté en juillet 2021, qui renforce les ambitions du Vieux Continent en matière de lutte contre le changement climatique, au bénéfice de l'hydrogène décarboné, la Commission européenne a présenté, en

« Si nous savons être les leaders de la production d'hydrogène de demain, alors nous construirons aussi la souveraineté énergétique de la France. »

EMMANUEL MACRON  
Président  
de la République

## Les grands investisseurs y croient

— En parallèle de ce soutien public, plusieurs acteurs du secteur de l'hydrogène décarboné lui consacrent désormais un nouveau fonds d'investissement mondial. Créé par EDF Pulse Ventures (le fonds d'investissement du groupe EDF), accompagné par Total Énergies, Air Liquide (tous deux, partenaires pour « décarboner l'hydrogène »), Vinci et Aéroports de Paris (ADP), ce fonds se dote déjà d'une enveloppe de 800 millions d'euros, vouée à grossir jusqu'à 1,8 milliard à l'avenir. Il permettra « de financer des projets d'une valeur totale de 15 milliards d'euros, ce qui en fera le plus grand fonds consacré à l'hydrogène décarboné dans le monde » énoncent les investisseurs dans un communiqué.



© GGenvia

décembre 2021, un projet de directive et de règlement relatifs au marché intérieur des gaz renouvelables et naturels et de l'hydrogène. Objectifs : décarboner le marché gazier et assurer le développement d'un réseau européen réservé à l'hydrogène.

S'agissant de ce gaz, Bruxelles ambitionne de doter l'UE d'un marché et d'infrastructures spéciaux. La Commission escompte ainsi ouvrir la voie et fixer les règles internationales applicables à ce vecteur énergétique émergent. Afin de favoriser le développement d'un réseau réservé à l'hydrogène, elle propose de créer un Réseau européen des opérateurs du réseau pour l'hydrogène (ENNOH, pour European Network of Network Operators for Hydrogen). Cette structure de gouvernance sera chargée de promouvoir la création d'une infrastructure spéciale à l'hydrogène, de favoriser la coordination transfrontalière, d'inciter à la construction d'interconnexions entre les réseaux et d'élaborer les règles techniques appropriées.

L'exécutif européen propose aussi de mieux coordonner le développement des trois réseaux électrique, gazier et d'hydrogène. Des plans nationaux de développement des réseaux devront assurer cette coordination, tout en garantissant la prise en compte des objectifs climatiques européens. En outre, les opérateurs de réseaux de gaz devront indiquer les infrastructures pouvant être déclassées ou réaffectées. Bien sûr, la Commission tient à ce que la création de ce réseau européen réservé à l'hydrogène « [soit] basée sur une projection réaliste de la demande ».

La Commission propose aussi des règles de marché spécifiques à l'hydrogène. Ces règles, qui couvriront notamment l'accès aux infrastructures, la séparation des activités de production et de transport d'hydrogène et la fixation des tarifs, seront applicables en deux

étapes, avant et après 2030. Les négociations entre le Parlement, la Commission et les États membres n'ont pas encore commencé, mais nul doute que l'évolution du contexte international énergétique poussera à une adoption rapide. Le déclenchement de la guerre en Ukraine et la crise d'approvisionnement en gaz russe qu'elle provoque redonnent au gaz vert produit localement un nouvel intérêt et plaident naturellement pour le développement de solutions alternatives aux gaz fossiles, avec, en première ligne, les énergies renouvelables et, indirectement, l'hydrogène vert. ①

*Florence Roussel*

**Emmanuel Macron** en visite sur le site de Genvia, à Béziers, en novembre 2021.

## Un nouveau pôle français de recherche

— L'aide publique du gouvernement, accordée à travers ses divers appels à projets, ne sera pas la seule à encourager la recherche d'innovations en matière d'hydrogène « vert ». Le 30 septembre 2021, la branche « Gas Power » de General Electric, GRT Gaz, l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris), la société McPhy et le réseau des universités de technologie françaises (qui regroupe les universités de Belfort-Montbéliard, de Compiègne et de Troyes) ont signé un mémorandum d'accord.

Ce dernier vise à créer un pôle français de recherche et d'enseignement supérieur s'intéressant plus particulièrement à l'hydrogène comme carburant de centrales à gaz. « En associant des fleurons industriels français et des institutions académiques de premier plan, le mémorandum d'accord de recherche ambitionne d'accélérer l'innovation autour de l'hydrogène pour tous les usages, incluant les projets bas carbone pour la production d'électricité au gaz et les applications industrielles », déclarent les signataires.

## STRATÉGIE

## ANALYSE

# L'HYDROGÈNE EN 2050

## L'OUTIL INDISPENSABLE À LA NEUTRALITÉ CARBONE

— Si la majorité de l'hydrogène produit en France n'est pas encore vert, RTE comme l'Ademe comptent sur un développement massif de ce gaz pour décarboner l'industrie et épauler les énergies renouvelables d'ici à 2050.

**Q**u'elle vise le tout énergies renouvelables ou le nouveau nucléaire, l'ambition énergétique française mise clairement sur le dihydrogène (H<sub>2</sub>, ou simplement hydrogène par raccourci) produit grâce à l'élec-

trolyse de l'eau, soit avec une électricité renouvelable pour de l'hydrogène vert, soit avec de l'électricité du réseau pour de l'hydrogène décarboné. La Stratégie nationale du développement de l'hydrogène décarboné (SNDHD), présentée en septembre 2020, compte déjà en faire l'outil principal de la France pour décarboner son industrie. Bruno Le Maire, alors ministre de l'Économie, des Finances et de la Relance, souhaite même qu'émergent des « écosystèmes territoriaux d'hydrogène » d'ici à 2030, pour décarboner le transport routier (bus, bennes à ordures, véhicules utilitaires), puis le ferroviaire non électrifié et, à terme, l'aviation.

Mais le développement de l'hydrogène décarboné pourrait aller encore plus loin. Ce gaz vert est en effet perçu comme l'une des contributions majeures à l'atteinte de la neutralité carbone en 2050. Source de décarbonation de l'industrie et des transports, l'hydrogène serait un atout indispensable à la flexibilité, la temporisation de la quantité massive d'électricité bientôt produite par les énergies renouvelables. À la fin de l'année 2021, les travaux prospectifs de deux acteurs majeurs (RTE, le gestionnaire du réseau de transport d'électricité, et l'Ademe, l'Agence de la transition écologique) ont tenté de dépeindre la décarbonation et l'électrification de la France d'ici à 2050. Et pour y parvenir, tous deux parient, d'une façon ou d'une autre, sur l'hydrogène.

### L'hydrogène au service de l'électricité du futur

Dans son rapport « Futurs énergétiques 2050 », le gestionnaire du réseau électrique, RTE, préconise la création d'un véritable « système hydrogène bas carbone » en France. Ce dernier se constituerait d'un maillage d'in-

frastructures de stockage et de transport d'hydrogène, capable d'assurer la flexibilité du réseau. Il s'appuie sur de l'hydrogène décarboné produit directement sur le territoire, grâce à de gros électrolyseurs installés à proximité des zones industrielles ou des centres de forte consommation électrique, et stocké dans des cavités salines artificielles.

Pour RTE, un tel système est une « solution indispensable » au fonctionnement d'un système électrique à haute composante en énergies renouvelables. Soumise à la météo, donc variable (ou intermittente) par nature, la production d'électricité d'origine photovoltaïque ou éolienne ne peut pas constamment satisfaire la demande, comme en sont capables les énergies nucléaire et fossile. Dans l'optique d'un système électrique complètement décarboné, comptant sur une large proportion d'énergies renouvelables, le stockage de l'électricité en surplus pour couvrir les besoins de flexibilité intersaisonniers s'avère essentiel.

Le gestionnaire du réseau recommande ainsi de coupler le futur système hydrogène bas carbone à une boucle « power-to-hydrogen-to-power », assurant la production d'électricité à partir d'hydrogène, résultant lui-même du stockage d'électricité renouvelable. RTE estime, en moyenne, à 25 térawattheures (TWh) par an les besoins d'équilibrage du futur système électrique d'ici à 2060 (contre des capacités actuelles de stockage d'hydrogène évaluées entre 3 et 5 TWh). Et il propose de les couvrir à l'aide de 40 à 60 centrales thermiques jouant sur cette boucle.

La donne change néanmoins en fonction du niveau de la réindustrialisation française. Dans sa trajectoire prospective pariant sur une « réindustrialisation profonde » du pays en 2050, RTE évalue la production d'hydrogène nécessaire à 87 TWh/an, « ne serait-ce que pour subvenir à la moitié des besoins industriels en combustibles additionnels ». Une variante, intitulée « hydrogène + », voit le développement du gaz vert exploser jusqu'à se substituer à l'électrification

« C'est une solution indispensable au fonctionnement d'un système électrique à haute composante en énergies renouvelables. »

RTE

## L'HYDROGÈNE PREND SA PART DANS LA DÉCARBONATION

La production d'hydrogène décarboné en 2050 (TWh/an), dans les projections de l'Ademe et de RTE

	Ademe				RTE			
	S1	S2	S3	S4	Sobriété	Référence	Réindustrialisation	Variante Hydrogène +
Hydrogène	55	96	100	35	47	50	87	171
Consommation électrique totale	400	535	655	840	555	645	750	755



### Le parc éolien offshore de Nordergrunde, en Suède, exploité par WPD.

Le développeur éolien va construire un parc similaire au large de Storgundet qui sera connecté à une usine d'hydrogène vert construite par Lhyfe. La capacité de production prévue est de 600 MW pour une production jusqu'à 240 tonnes par jour à compter de 2025.

de secteurs comme la sidérurgie et à l'utilisation de biométhane pour 35 % des camions et tracteurs. Le gestionnaire du réseau chiffre une telle consommation à 171 TWh/an. « Cela implique de développer, en même temps que l'offre d'hydrogène bas carbone, une demande pour cette énergie : ammoniac pour le transport maritime, biofuels pour l'aviation, etc. », précisent les experts de RTE dans leur rapport. Pour satisfaire cette demande, le système hydrogène français doit compter sur un réseau de sites de stockage fortement interconnectés à ceux des pays voisins, « pour importer de l'hydrogène à moindre coût » en cas de besoin.

### Le couteau suisse de la décarbonation ?

L'Ademe, dans les quatre scénarios (ou « récits ») qu'elle a élaboré dans le cadre de son rapport « Transition(s) 2050 », conçoit la production d'hydrogène décarboné par électrolyse comme « indispensable pour contribuer à la neutralité carbone ». Dans chacun de ses scénarios, l'agence prévoit une augmentation significative de la consommation d'hydrogène, jusqu'à 4,5 fois plus, d'ici à 2050. Néanmoins, chaque récit exploite l'hydrogène différemment.

Dans son scénario le plus sobre (« S1 »), l'Ademe envisage la production d'une grande quantité d'hydrogène, mais le considère comme une ressource secondaire. Grâce à 20 gigawatts (GW) d'électrolyseurs disséminés sur le territoire (soit, environ trois fois plus que l'objectif de la SNDHD, d'ici à 2030), ce gaz participe surtout à accentuer la production de méthane de synthèse, par méthanation, dont l'avantage est de pouvoir exploiter les réseaux gaziers existants. Des 55 TWh livrés chaque

année dans ce scénario, 42 TWh d'hydrogène sont ainsi consacrés à ce procédé.

Le scénario « S2 » mise, quant à lui, sur une « utilisation diffuse », pour divers usages. Produit à un rythme de 96 TWh/an, l'hydrogène sert à la fois à la flexibilité du réseau électrique (38 TWh) et à la décarbonation de l'industrie (20 TWh) et des transports (20 TWh). À l'instar de la variante « hydrogène+ » de RTE, le scénario « S3 » de l'Ademe, porté sur une accélération des énergies renouvelables, envisage une « utilisation centralisée » et interconnectée de l'hydrogène. Une « dorsale hydrogène » répartit les besoins de consommation en eau et en électricité, ainsi que les capacités de stockage (chiffrées à 55 TWh dans ce contexte) sur le territoire. Sur les 100 TWh d'hydrogène consommés par an, 43 ont néanmoins importés depuis l'étranger.

Seul son scénario « S4 », dans lequel la société continue sur la même tendance de consommation actuelle, sans modifier ses modes de vie, ne compte pas autant sur l'hydrogène pour participer à la décarbonation de l'industrie ou à la flexibilité. Le gaz vert, produit néanmoins au rythme de 35 TWh par an, est délaissé au profit du stockage de l'électricité par batteries et de solutions de captage et stockage de carbone (CCS). L'hydrogène sert alors essentiellement de ressource pour produire des biocarburants. En somme, qu'il soit le pilier de l'équilibrage du réseau électrique futur ou de la décarbonation de l'industrie et des transports, l'hydrogène est, pour l'Ademe, « une technologie sans regret à développer ». ①

Félix Gouty

## STRATÉGIE

— Dijon Métropole donne une place de choix à l'hydrogène dans sa stratégie énergétique. Elle mise sur ce gaz pour décarboner ses flottes de véhicules. Détails avec **Jean-Patrick Masson**, vice-président de la Métropole de Dijon.

INTERVIEW

# CETTE BRIQUE RÉPOND À L'ENJEU DE LA MOTORISATION PROPRE



© Dijon Métropole

— **ACTU-ENVIRONNEMENT** : Quelle place prend l'hydrogène dans la stratégie énergétique de la Métropole de Dijon ?

**JEAN-PATRICK MASSON** : L'hydrogène est un vecteur énergétique très lié à la production d'énergies renouvelables (ENR). Il a comme vertu de stocker les ENR quand elles sont sous-consommées. Par ailleurs, on a absolument besoin de diminuer les émissions de carbone en matière de mobilité. La réponse habituelle est celle des véhicules électriques à batterie, mais ils ne peuvent pas répondre à tous les usages.

À la Métropole de Dijon, nous misons sur l'hydrogène pour nos flottes captives, comme les bennes à ordures ménagères (BOM) et les bus. Nous avons une maîtrise parfaite de l'exploitation de ces flottes, nous pouvons donc les convertir à l'hydrogène. **Avantage majeur : à la différence de l'électricité, on ne change rien dans la manière dont on gère nos flottes – disponibilité, organisation du travail, usage – par rapport à la situation actuelle.**

— **AE** : Quel projet mettez-vous en place concernant les bennes à ordures ménagères ?

**JPM** : En réflexion depuis 2019, notre projet est conçu sur un système circulaire. L'incinération de nos déchets produira de l'électricité qui alimentera un électrolyseur pour la production d'hydrogène carburant pour nos bennes à ordures. Nous avons fait le choix de l'hydrogène car nous y voyons plusieurs avantages techniques par rapport à la motorisation électrique. En

électrique, les batteries sont très lourdes et prennent de la place. La capacité des BOM est réduite, de même que leur autonomie, ce qui nécessite une revue complète des tournées de collecte des déchets, voire une hausse du nombre de véhicules nécessaires.

Un camion ne peut faire que 200 à 250 km avec une batterie, avec un poids total en charge limité. Pour collecter un même quartier, il faudrait donc plus de véhicules.

La station-service à hydrogène pour nos BOM est en construction au nord de la métropole, près de l'incinérateur. Les camions viendront décharger les déchets et se recharger en hydrogène. Elle sera équipée d'un électrolyseur de 1 MW et sera prête l'été prochain. Elle aura une capacité quotidienne de production de 440 kg d'hydrogène qui pourrait être multipliée à terme par deux avec la construction d'une extension. Nous allons bientôt recevoir les deux premières BOM à hydrogène sur les huit attendues pour une flotte actuelle de 44 BOM. Le fournisseur est E-Trucks, le seul en Europe à fournir ce genre de véhicules. Une BOM à hydrogène est trois fois plus chère qu'un Diesel et 1,5 fois plus que l'électrique.

« **Avantage majeur : à la différence de l'électricité, on ne change rien dans la manière dont on gère nos flottes.** »

— **AE** : Et qu'en est-il du projet de bus à hydrogène ?

**JPM** : Cette deuxième flotte aura sa station-service au sud de la Métropole. Elle sera prête courant 2024 pour une production journalière de 880 kg. Une capacité qui pourra être triplée à terme



et alimentée par une centrale photovoltaïque de 12 ha. Pendant ce temps, nous allons entamer l'achat des bus à hydrogène. Nous en avons 180 à convertir au total. Nous avons donc lancé un premier appel d'offres pour 27 bus et, contrairement aux BOM, il y a de la concurrence, avec des prix globalement deux fois plus élevés qu'un bus Diesel. Pour ce second site, nous n'avons pas opté pour une station-service classique où chaque bus ferait la queue pour se ravitailler. Nous avons choisi d'équiper chaque place de centre-bus d'une distribution d'hydrogène. C'est une première !

— **AE** : Pour quelle gouvernance avez-vous opté et quel modèle économique visez-vous sur ce projet ?

**JPM** : Les bus et bennes appartiennent à la Métropole. Nous sommes aussi le producteur de l'électricité (régie) via l'incinérateur et nous sommes actionnaires de l'entreprise qui gèrera la fabrication de l'hydrogène et sa distribution. Pour réaliser ce projet, Dijon Métropole s'est en effet associée au groupe local Rougeot Énergie pour développer un véritable système de production, en créant la coentreprise Dijon Métropole Smart Energy (DMSE). En janvier 2021, Storengy, filiale d'Engie, spécialiste du stockage de gaz et du développement des gaz renouvelables, est entrée au capital de DMSE.

Ce projet nécessitera 100 millions d'euros d'investissements et nous visons une production d'hydrogène à un prix cible de 8 à 12 € le kilo. La grande difficulté de ce dossier, c'est d'avoir une adéquation entre la production et la consommation. Nous estimons que l'équilibre économique de notre projet sera atteint en 2026 lorsque toute la flotte de BOM et 45 % de nos bus seront convertis. Il faudra ensuite décider d'aller ou non vers un 100 % hydrogène d'ici à 2030. Le contexte du



La future station hydrogène prévue près de l'incinérateur.

prix haussier de toutes les énergies influera sans doute sur le projet. Le Diesel augmente certes, mais l'électricité verte aussi...

— **AE** : Êtes-vous confiant dans l'avenir de l'hydrogène et de votre projet ?

**JPM** : Notre logique est de miser sur des énergies en circuits courts, dont on dispose sur le territoire. L'hydrogène s'inscrit là-dedans. Nous en sommes convaincus, c'est une brique qui répond à l'enjeu de motorisation propre, d'autant qu'un élément important est à prendre en compte en 2025 : nous devons verdir nos flottes. Sachant qu'une BOM ou un bus a dix ans de durée de vie, il faut se séparer rapidement du Diesel. **①**

Propos recueillis par **Florence Rousset**

# Multiplier les usages temporaires de l'hydrogène

Loxam, leader européen de la location de matériel, est engagé dans une trajectoire de réduction de ses émissions de gaz à effet de serre, en conformité avec le scénario le plus ambitieux des Accords de Paris (+1,5°C).

Pour relever ce défi, Loxam s'appuie sur une politique d'investissements volontaire en faveur de matériels à faibles émissions, et sur une stratégie d'innovations et d'expérimentations sur les chantiers de ses partenaires afin de co-développer de nouveaux produits et services.

L'hydrogène décarboné en fait partie car il permet de distribuer sur des sites éphémères, éloignés des réseaux électriques, une énergie plus verte, et d'alimenter des engins de chantier avec aucune émission en utilisation.

Cette stratégie repose sur 3 piliers :

- Tests d'équipements dès la sortie des prototypes. Loxam a été le premier loueur à faire l'acquisition d'un groupe électro-hydrogène 100kVA,
- Déploiement de la logistique nécessaire à l'approvisionnement en hydrogène d'origine renouvelable,
- Signature de partenariats pour co-développer les usages de l'hydrogène.

Le déploiement de l'hydrogène sur les sites éphémères fait encore face à plusieurs contraintes (approvisionnement, réglementations, etc). C'est pourquoi Loxam multiplie des tests grandeur nature pour progressivement définir les meilleurs usages de cette énergie, alliant performances opérationnelles et économiques, faible impact environnemental et sécurité. ■

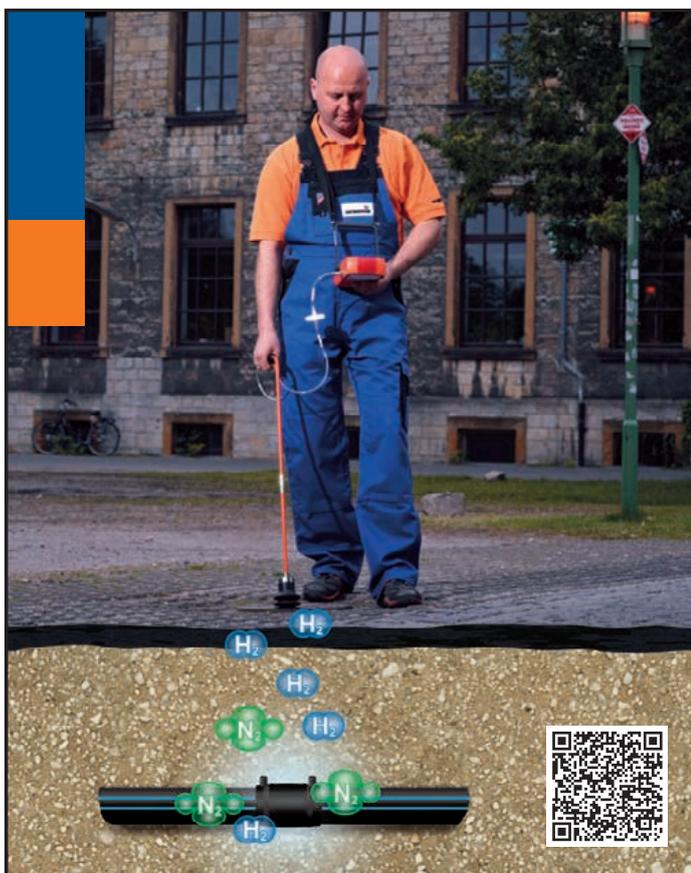


## CONTACT

Tél. : 0800 20 40 80

Mail : h2@loxam-power.com

Site : www.loxam.com



**SEWERIN**  
Technologies pour la détection de fuites.

## VARIOTEC® 460 Tracergas

Détecteur de fuites d'hydrogène  
Recherche de fuites non destructive  
en intérieur et extérieur



SEWERIN | 17, rue Ampère-BP 211 | F-67727 HOERDT CEDEX  
Tél. +33 (0)3 88 68 15 15 | Fax. +33 (0)3 88 68 11 77 | www.sewerin.com

## 3 QUESTIONS À...

# Des technologies d'automatisation pour accélérer la production et la distribution d'hydrogène bas carbone ?



— Fournir la quantité d'hydrogène suffisante pour contribuer à limiter le réchauffement climatique nécessite un passage à l'échelle de la filière. Entretien avec Jérôme Desmoulières, directeur commercial et marketing chez Emerson Automation Solutions, fournisseur de technologies avancées d'automatisation.

Avec **Jérôme Desmoulières**, directeur commercial et marketing chez Emerson Automation Solutions

### **Q** Quel positionnement occupe Emerson sur la chaîne de valeur de l'hydrogène ?

**J. D.** : Emerson est un fournisseur mondial de technologies et de logiciels, positionné sur l'intégralité de la chaîne de valeur hydrogène, depuis la production jusqu'à la distribution. Pour relever le défi du passage à l'échelle de la filière, nous sommes engagés avec les principaux acteurs du secteur dans la réduction des coûts et l'augmentation des capacités de production et de distribution. L'objectif ? Apporter de l'hydrogène propre aux différents utilisateurs notamment dans les domaines de la mobilité et de la décarbonation de l'industrie. La mise à disposition d'un hydrogène renouvelable ou bas carbone, abondant et compétitif, est un enjeu majeur de lutte contre le réchauffement climatique.

### **Q** Comment peut-on accélérer ce passage à l'échelle ?

**J. D.** : Les technologies qui permettent à ces unités de production et stations de distribution de fonctionner existent et nous en fournissons déjà plusieurs. Il est possible d'anticiper l'optimisation opérationnelle d'usines et leur conception, grâce aux jumeaux numériques que nous développons. Ces outils permettent

de simuler les process, d'optimiser la conception et de former les opérateurs avant la construction des unités de production. Grâce au Machine Learning, nous identifions les comportements de ces unités pour une conduite optimisée ou des améliorations des unités à construire. En accélérant ainsi la courbe d'apprentissage, la transformation numérique contribuera à atteindre plus vite les objectifs de production massive à un coût compétitif.

### **Q** En matière de distribution d'hydrogène, les enjeux sont-ils de même nature ?

**J. D.** : Le déploiement d'un réseau permettant de distribuer la quantité d'hydrogène requise pour tous les usages, rapidement et en toute sécurité, est également un défi. Les solutions sont là mais les standards de marché se cherchent. Aucun acteur ne peut seul les imposer et c'est en écosystème qu'opérateurs, constructeurs et partenaires d'automatisation pourront les faire émerger. Nous y sommes engagés en développant des solutions d'automatisation et de métrologie adaptées. Notre but est, là encore, d'intervenir le plus tôt possible dans ces projets pour en optimiser le design et la performance opérationnelle.

## STRATÉGIE

— Coordinatrice du PEPR consacré à l'hydrogène au CEA en copilotage avec le CNRS, **Hélène Burlet** détaille les grands enjeux de la recherche en la matière et comment le PEPR va accélérer la dynamique et irriguer toute l'industrie de l'hydrogène.

▼ INTERVIEW

# DES TECHNOLOGIES SONT DISPONIBLES, MAIS LARGEMENT PERFECTIBLES

— **ACTU-ENVIRONNEMENT** : Quels sont les axes de recherche actuels liés à l'hydrogène ?

**HÉLÈNE BURLET** : L'hydrogène, c'est tout une chaîne de valeur, donc les axes de recherche sont nombreux. Tout un pan de l'activité de R&D se concentre sur l'hydrogène bas carbone car la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau est la priorité de la stratégie française. L'objectif est d'améliorer le rendement des électrolyseurs et d'allonger leur durée de vie pour baisser les coûts. La technologie à membrane échangeuse de protons (PEM), à basse température et membrane polymère, déjà commercialisée, reste chère car elle utilise de la platine, de l'iridium et du titane. Ces matériaux sont chers, rares pour certains, donc la R&D cherche à les remplacer par d'autres, abondants et bas coûts.

La technologie d'électrolyse dite à haute température (800 °C) nécessite des matériaux céramiques pour le cœur de cellule, utilise du nickel à la place du platine en tant que catalyseur, et elle est donc moins sensible au problème des matériaux critiques que la PEM. Mais cette technologie, plus récente, doit encore gagner en maturité. Les vitesses de dégradation des matériaux liés aux températures élevées doivent en particulier être diminuées.

— **AE** : La pile à combustible (PAC) nécessite-t-elle aussi des améliorations ?

**HB** : Il n'y a pas de PAC universelle, les enjeux sont différents en fonction de l'application envisagée. Les recherches visent à optimiser cette technologie selon les usages et utilisent pour cela des chimies différentes, et des logiciels d'optimisation spécifiques à chacun. Concernant les PAC déjà commercialisées, elles sont encore trop chères, essentiellement à cause du platine utilisé comme catalyseur. Pour baisser les coûts, il faut remplacer tous les matériaux coûteux et augmenter la durée de vie de la PAC. En ce qui concerne le platine,



© Guillaudin/CEA



le « moins » c'est dans trois ans, le « pas du tout » c'est dans dix ans. Il faut également travailler à l'optimisation des plages de fonctionnement car une température ou un voltage trop élevés accélèrent le vieillissement de la PAC, alors que la profession demande des performances stables sur des durées longues. Par exemple, pour une PAC utilisée en transport lourd, il faut viser 30000 heures de vie contre 15000 heures aujourd'hui. Il existe des feuilles de route établies par la Commission européenne pour tous les types d'usage de PAC. Et il ne faut pas oublier les recherches nécessaires à l'utilisation de l'hydrogène pour fournir de l'énergie sans passer par sa conversion en électricité grâce à la PAC. L'hydrogène peut en effet être utilisé comme carburant dans un moteur à combustion. Ce n'est pas nouveau, mais il faut faire mieux, c'est-à-dire sans émissions d'oxyde d'azote.

**AE** : Qu'en est-il des recherches en matière de stockage de l'hydrogène ?

**HB** : On sait déjà le stocker et le transporter, mais pas dans les bons volumes. L'hydrogène est une petite molécule qui prend beaucoup de place à pression atmosphérique. Il est comprimé à 350 ou 700 bars dans des réservoirs pour la mobilité hydrogène. Il faut conduire des activités de R&D sur ces réservoirs pour en baisser le coût, par exemple, en utilisant des matériaux moins chers. Pour la mobilité lourde qui nécessite des réservoirs de grande capacité, il faut approfondir les recherches sur les transferts : peut-on augmenter la vitesse de remplissage d'un réservoir sachant que cela provoque un échauffement, et donc quels matériaux utiliser pour contenir cet échauffement ? Il existe d'autres sujets de recherche sur la sécurité des systèmes de stockage de l'hydrogène : tests de suppression des réservoirs, comportement en cas de perçage, de surchauffe, ou phénomène de formation de nappe et diffusion dans l'atmosphère en cas de rupture de canalisation par exemple.

Caractérisation de stacks de piles à combustible.



© Guillaudm/CEA

« L'objectif est d'améliorer le rendement des électrolyseurs et d'allonger leur durée de vie pour baisser les coûts. »

**HÉLÈNE BURLET**  
Coordinatrice du PEPR consacré à l'hydrogène au CEA en copilotage avec le CNRS

## LES PROJETS DE RECHERCHE LANCÉS DANS LE CADRE DU PEPR-H2

### ● CELCER-EHT

se penchera sur la nature des matériaux et les procédés de mise en œuvre des cellules céramiques, cœur des réactions électrochimiques générant l'hydrogène, pour augmenter leurs performances et ralentir leur vieillissement tout en restant à coûts maîtrisés. Des cellules de taille industrielle (200 cm<sup>2</sup>) seront fabriquées et testées.

### ● PROTEC

s'intéresse aux cellules céramiques fonctionnant à plus basse température (500-600 °C), permettant de lever les verrous liés à la très haute température. Cette technologie de cellules étant à une échelle TRL basse, les démonstrateurs prévus en fin de projet seront d'une taille « quasi-industrielle » (de l'ordre de la dizaine de centimètres carrés), qui permet d'extrapoler les propriétés obtenues à celles de la future cellule de taille industrielle.

### ● SOLHYD

s'intéresse au stockage stationnaire dans des milieux solides, qui présente des avantages majeurs en termes de compacité et de sécurité, en s'appuyant sur des outils numériques et le « machine learning », pour identifier les compositions les plus prometteuses.

### ● HYPERSTOCK

est consacré au stockage et au transport de l'hydrogène par voie gazeuse et à hautes pressions. Il vise à référencer des matériaux métalliques et non métalliques en environnement sévère hydrogène. La connaissance des propriétés de ces matériaux permettra de limiter l'empreinte carbone des réservoirs hyperbares.

### ● PEMFC95

ambitionne de développer des piles à combustible à membrane échangeuse de protons (PEMFC) capables de fonctionner à une température stabilisée de 95 °C au lieu de 80 °C aujourd'hui. L'élévation de température permettra d'alimenter la PEMFC en hydrogène moins pur mais sans baisse de performances. Un gain de puissance et une diminution de coût sont également attendus.

### ● DURASYS-PAC

se concentre sur l'amélioration de la durabilité des piles à combustible (PAC) basse température, en identifiant les conditions de fonctionnement dégradantes pour la cellule et le stack (tolérance aux défauts, aux cyclages et au démarrage à froid) et en proposant des stratégies

pour les éviter. Des protocoles fiables de vieillissement accélérés seront développés à l'échelle du stack et du système.

### ● FLEXISOC

vise à explorer la flexibilité des cellules céramiques des piles à combustible haute température vis-à-vis du combustible utilisé, comme des mélanges gazeux, voire des liquides. Les investigations se déclineront à l'échelle des matériaux, des cellules, des stacks, jusqu'aux systèmes.

### ● L'ÉQUIPEX

d'excellence DurabilitHY vise à doter la recherche académique de moyens d'essais très performants pour l'étude de la durabilité des technologies hydrogène-énergie, avec un focus sur les piles à combustible et les électrolyseurs de forte puissance de type PEM (Proton Exchange Membrane) en conditions opératoires représentatives des applications visées : stationnaire (dont micro-réseaux intelligents), embarqué terrestre (véhicules légers, lourds, trains...) et aéronautique.

## STRATÉGIE

▷ L'hydrogène peut aussi être stocké sous forme liquide à  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Or, si on veut le stocker en grande quantité à proximité des usages et donc des citoyens : comment garantir ces basses températures et que faire en cas de rupture ?

Il est aussi transformable en ammoniac liquide ( $\text{NH}_3$ ), mais cette conversion est réalisée aujourd'hui par un procédé très énergivore, qu'il faut donc modifier.

On peut aussi le fixer dans un liquide organique pour le transporter. Cette solution existe déjà, mais il y a du mieux à faire car les liquides utilisés actuellement sont toxiques et ne sont pas capables d'absorber des quantités importantes d'hydrogène.

**AE :** Vous venez d'être désignée copilote avec le CNRS d'un PEPR. Comment ça marche ?

**HB :** Le PEPR est un objet qui est associé à une stratégie d'accélération. On est dans le cas où la France se saisit d'un sujet et décide d'aller vite. À travers le PIA4, le plan de relance puis France 2030, l'État se donne les moyens de déployer 6,5 GW d'électrolyseurs d'ici à 2030, objectif fixé dans la stratégie nationale. L'objectif du PEPR est de lever les verrous technologiques et les freins sociaux, techniques et économiques pour lancer les démonstrateurs.

Ce PEPR, doté d'une enveloppe de 80 millions d'euros, a vocation à financer et animer la communauté française de la recherche publique compétente dans le domaine de l'hydrogène et ainsi accompagner les industriels de la filière dans leur stratégie de déploiement commercial. Ceux-ci bénéficient par ailleurs de financements autorisés par l'IPCEI européen consacré à l'hydrogène.

**AE :** Quels sont les axes de recherche prioritaires ?

**HB :** Nous sommes sur de la recherche avec un TRL ou Technology Readiness Level de 1 à 4,

« Le PEPR a vocation à financer et animer la communauté française de la recherche publique compétente dans le domaine de l'hydrogène. »

HÉLÈNE BURLET



Impression de composants de piles à combustible par sérigraphie.

c'est-à-dire des recherches de laboratoire portant sur l'observation et la description d'un concept jusqu'à la validation de composants et de maquettes dans des conditions représentatives de leur futur usage.

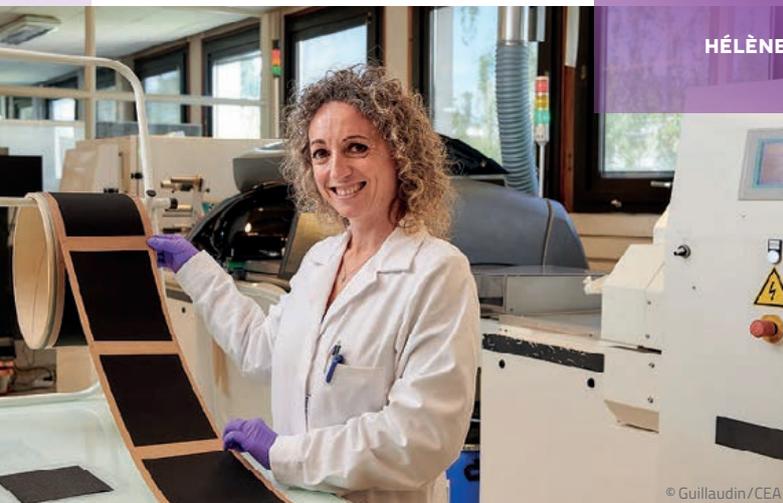
Le CNRS et le CEA vont coordonner les recherches selon plusieurs axes : production d'hydrogène par électrolyse de l'eau ; mobilité pour le transport lourd et, en support du déploiement des technologies à travers des activités sur des analyses socio-économiques ; recherches prénormatives et sociétales ; outils et méthodes d'analyse du cycle de vie (ACV)... D'autres axes sont plus exploratoires, comme la production d'hydrogène par photoélectrocatalyse qui va nécessiter entre cinq et six ans de recherche, ou encore la combustion de l'hydrogène pour l'aéronautique.

**AE :** Quel est le calendrier prévu ?

**HB :** Le PEPR hydrogène, c'est un ensemble de 20 à 30 projets sur six à huit ans. Après une phase de discussion avec l'État, qui s'est appuyé sur une large consultation de la communauté, sept grands projets ont déjà été identifiés (cf. encadré). Un projet d'Equipex sur les tests de performance et de vieillissement

de piles à combustible basse température, réparti entre deux sites à Toulouse et à Belfort, est venu compléter l'offre de R&D pour la filière. Toujours dans le cadre du PEPR-H2, un appel à projets, opéré par l'Agence nationale de la recherche (ANR) et qui visait à sélectionner des projets complémentaires très innovants, ouvrant la voie à des solutions alternatives sur ces thèmes, vient de se clôturer. L'ANR a également lancé, le 24 janvier, un appel à manifestation d'intérêt, afin de traiter le volet portant sur les questions d'analyse socio-économique et d'études d'impacts, et d'analyses de cycle de vie des systèmes à hydrogène. ①

Propos recueillis par Florence Roussel

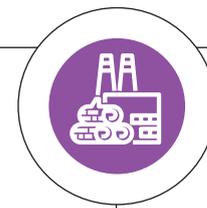


© Guillaudin/CEA

Laboratoire de réalisation d'électrodes pour AME (assemblage membrane électrode).

## ▼ FICHE PROJET

# Des stations-service d'hydrogène produit à partir de BIOMASSE



Biomasse

— Les deux start-up CarbonLoop et Hylico développent un concept de stations d'avitaillement en hydrogène où le gaz serait produit sur place à partir de biomasse. La première station pourrait voir le jour d'ici à 2025.

# I

**I** n'y a pas que l'électrolyse de l'eau pour fabriquer de l'hydrogène. La thermolyse de la biomasse aussi en produit. C'est sur ce procédé qu'a misé CarbonLoop, une start-up

créée en 2021 pour développer des projets de stations-service où l'hydrogène sera produit sur place par ce procédé. Avec sa start-up sœur Hylico – les deux sociétés ont été créées par la société d'investissement Kouros –, CarbonLoop entend décarboner les transports en s'occupant de la partie production, tandis qu'Hylico prend en charge la distribution de l'hydrogène et la location des véhicules qui vont avec. Hylico a d'ailleurs signé une lettre d'intention, début avril, avec l'enseigne Point.P pour la commande de deux premiers camions à hydrogène, avec mise en place d'une première station d'avitaillement. Cette dernière sera équipée de deux modules de thermolyse de biomasse fournis par Haeffner Energy. Ils produiront près de 750 à 800 kg d'hydrogène par jour.

Aujourd'hui, la technologie a été validée pour transformer de la biomasse ligneuse et des résidus forestiers, mais elle pourrait aussi traiter des résidus de récolte. Pour gérer l'approvisionnement en biomasse, CarbonLoop s'est rapprochée d'Énergie Biomasse Consulting, une société experte dans la sécurisation des plans d'approvisionnement en biomasse. Sur ce sujet sensible, à l'heure où la biomasse fait l'objet d'un regain d'intérêt pour sa valorisation énergétique, CarbonLoop entend privilégier le local en s'approvisionnant dans un rayon de 50 à 100 km maximum autour de chaque station.

Originalité de la démarche : en plus de vendre de l'hydrogène décarboné, CarbonLoop entend intégrer dans son modèle économique la vente du biochar, ce résidu solide issu de la thermolyse qui stocke le carbone de la biomasse et peut servir de support de culture, ainsi que les crédits carbone associés. ⑩



© CarbonLoop

## PROJET CARBONLOOP

### PORTEURS DU PROJET

● CarbonLoop associé à Hylico

### LIEU D'IMPLANTATION

● Enseignes Point.P

### DATE DE MISE EN SERVICE

● Première station d'ici à 2025  
100 stations d'ici à 2030

### TECHNOLOGIE MOBILISÉE

● Thermolyse de la biomasse

### SOURCE D'ÉNERGIE

● Résidus de biomasse ligneuse

### CAPACITÉ DE PRODUCTION

● 750 à 800 kg d'hydrogène par jour pour chaque station d'avitaillement

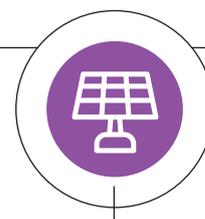
### USAGES

● Mobilité

## STRATÉGIE

## FICHE PROJET

# Un parc photovoltaïque associé à un stockage EN GUYANE



Photovoltaïque

— Meridiam et ses partenaires, Hydrogène de France (HDF) et la Société anonyme de la raffinerie des Antilles (Sara), ont annoncé le lancement du chantier de la centrale électrique de l'Ouest guyanais (CEOG), pour une mise en service en avril 2024.

**L**a centrale combinera un parc photovoltaïque de 55 mégawatts (MW), un stockage d'énergie sur le long terme sous forme d'hydrogène gazeux de 88 MWh associé à une pile à combustible de 3 MW et un stockage à court terme par batteries de 38 MWh. La centrale, considérée comme une installation de production électrique de base, doit fournir au réseau guyanais 10 MW d'énergie renouvelable en journée et 3 MW la nuit. HDF, qui détiendra 10 % de l'installation, et McPhy fourniront respectivement les piles à combustible et les électrolyseurs de la centrale, qui sera construite par Siemens Energy SAS et opérée par Siemens Energy Global GmbH.

L'investissement total atteint 170 millions d'euros. L'électricité produite sera encadrée par un contrat de type capacitaire de vingt-cinq ans. Le projet bénéficie aussi de soutiens publics, dont un prêt de 25 millions d'euros accordé par la Banque européenne d'investissement (BEI), avec le soutien de la Commission européenne. Cette aide est apportée dans le cadre du volet « Projets de démonstration dans l'énergie » du dispositif InnovFin, au titre du programme Horizon 2020, ainsi que de l'initiative NER 300.



© Meridiam

## PROJET MERIDIAM

## PORTEURS DU PROJET

- Meridiam, Hydrogène de France (HDF), McPhy, Société anonyme de la raffinerie des Antilles

## LIEU D'IMPLANTATION

- Mana (Guyane)

## DATE DE MISE EN SERVICE

- Avril 2024

## TECHNOLOGIE MOBILISÉE

- Électrolyse et stockage en batteries

## SOURCE D'ÉNERGIE

- Parc photovoltaïque

## CAPACITÉ DE PRODUCTION

- Stockage d'hydrogène gazeux de 88 MWh

## USAGES

- Production d'électricité par piles à combustible

## 3 QUESTIONS À...

# L'hydrogène bas carbone au cœur de la stratégie d'ENGIE



— Pour parvenir à un futur neutre en carbone, ENGIE s'appuie sur un mix énergétique diversifié, avec des objectifs de développement des capacités de production, de transport et de stockage d'hydrogène. Une feuille de route ambitieuse, en ligne avec la position de front-runner d'ENGIE sur l'hydrogène renouvelable.

Avec **Valérie Ruiz-Domingo**, Vice-présidente Hydrogène Groupe

### **Q** Quelle est la stratégie hydrogène du Groupe ?

**V. R-D.** : L'hydrogène dont on parle chez ENGIE, c'est l'hydrogène renouvelable, même si l'hydrogène bas carbone sera sans doute nécessaire, pour accélérer le marché. Il s'inscrit dans la stratégie globale d'ENGIE, avec des projets concrets sur toute la chaîne de valeur de l'hydrogène, de la conception à l'exploitation des installations. C'est un trait d'union entre les infrastructures, les énergies renouvelables et la décarbonation de nos clients. Notre ambition est d'accompagner les acteurs de l'industrie et de la mobilité lourde à atteindre leurs objectifs de neutralité carbone. Nous prévoyons d'ici 2030 de développer une capacité de production d'hydrogène vert de 4 GW, disposer de 700 km de réseaux d'hydrogène dédiés et de 1 TWh de capacités de stockage, installer plus de 100 stations de recharge.

### **Q** Où en êtes-vous aujourd'hui concrètement ?

**V. R-D.** : Nous visons aujourd'hui des projets de grande taille, sur des bassins industriels où ENGIE est déjà présent. Le projet Reuze, à Dunkerque illustre notre ambition de décarboner l'industrie dans un écosystème portuaire complexe, avec ArcelorMittal, pour produire des carburants de synthèse destinés au transport maritime et aérien. Dans les territoires, ce sont des projets de mobilité comme HYGO en Bretagne, avec Michelin, ou Hyport à Toulouse. Avec les infrastructures gazières

existantes, nous sommes sur des projets pilotes de transport et stockage hydrogène. Le démonstrateur HypSTER de Storengy, permettra, dès 2023, de tester la production et le stockage d'hydrogène en cavité saline, sur le site d'Étrez. A l'international, nous alimentons déjà en hydrogène les camions géants d'Anglo-American dans la plus grande mine de platine au monde, à Mogalakwena, en Afrique du Sud.

### **Q** De quoi avez-vous besoin pour accélérer et changer d'échelle ? Pour quelles applications prioritaires ?

**V. R-D.** : Nous sommes sur la bonne voie. Plus de 20 milliards d'euros sont prévus niveau européen, et environ 10 milliards, hors infrastructures, au niveau français, pour développer la filière hydrogène. Néanmoins le marché nécessite un système régulateur européen stable ainsi qu'une simplification des processus qui permettra d'accélérer l'attribution effective des subventions (Innovation Fund, IPCEI...). Cela soutiendra l'accélération du marché, nécessaire pour passer à l'échelle industrielle et réduire les coûts de production. L'hydrogène renouvelable sera compétitif entre 1,5 et 2€ kg pour remplacer l'hydrogène gris, avec des énergies renouvelables à faible coût. L'engagement des clients sera également déterminant pour prendre les décisions d'investissement. ENGIE est pleinement mobilisé pour créer les futurs écosystèmes de l'hydrogène avec ses parties prenantes publiques et privées.

## INDUSTRIE

## TENDANCE

# DÉCARBONATION DE L'INDUSTRIE : LES PREMIERS PROJETS PRENNENT FORME

— Inscrit depuis 2020 dans la stratégie nationale pour l'hydrogène, le volet décarbonation de l'industrie commence à se traduire en projets concrets. Certaines installations devraient devenir opérationnelles dans deux ou trois ans avant de se démultiplier d'ici à la fin de la décennie.



© Borealis

A

rcelorMittal à Dunkerque, Michelin à Vannes, TotalEnergie autour de l'étang de Berre ou encore Borealis à Ottmarsheim : quelques industriels se lancent déjà dans l'expérimentation de

la décarbonation de leurs activités par le biais de l'hydrogène vert. Les tensions sur le marché des énergies et la nécessité de rester compétitifs les y poussent plus que jamais. Mais les limites fixées au secteur – pas plus de 53 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> émises en 2030 et 16 millions en 2050, contre 84 en 2019 –, par la Stratégie nationale bas carbone (SNBC), constituent aussi une forte incitation. En effet, si le secteur de l'industrie s'est montré le plus vertueux en matière de réduction de ses rejets de gaz à effet de serre depuis 1990, il reste responsable de 20 % du total des émissions nationales, principalement générées par la chimie, les minéraux non métalliques et la métallurgie.

## Une place centrale pour un tiers des industriels

En complément d'autres leviers insuffisamment exploités, comme la récupération de la chaleur fatale, l'adoption de l'hydrogène vert pourrait ainsi permettre de grosses économies de carbone. Soit en remplacement des 880 000 tonnes d'hydrogène d'origine fossile (gaz naturel ou charbon) consommées chaque année pour le raffinage, la production d'engrais ou la chimie. Soit sous forme d'alternative aux fossiles pour les process difficiles à électrifier et pour la production de chaleur. Soit pour transformer d'autres procédés industriels, dans la sidérurgie ou la cimenterie. Le cimentier Vicat, par exemple, compte utiliser l'hydrogène pour valoriser son CO<sub>2</sub> dans la production de méthanol décarboné. Comme le confirme une étude menée en juin 2021 par GRTgaz et Teréga, toutes ces solutions sont bien identifiées par



Usine du producteur d'engrais Borealis où pourraient être produits 4 300 tonnes d'hydrogène bas carbone par an, dans trois à quatre ans, grâce à une station d'électrolyse de 30 MW.

les industriels. Pour 41 % d'entre eux, sa place demeure « secondaire pour l'instant ». Mais un petit tiers la juge déjà « centrale ». C'est le cas d'ArcelorMittal qui, avec le soutien de l'État, investira 1,7 milliard d'euros à Fos-sur-Mer et à Dunkerque afin de rejeter 40 % de carbone en moins d'ici à 2030. Soit une économie de 7,8 millions de tonnes par an.

### La fin de la décennie en ligne de mire

« Notre industrie consomme énormément de carbone. Elle n'a pas été pensée pour l'économiser (...). Nous allons donc être obligés de changer nos process », constatait Damien Chambolle, directeur du programme décarbonation d'ArcelorMittal Méditerranée, lors d'une table ronde organisée par l'Ademe, le 30 mars dernier. À Dunkerque, le sidérurgiste construira une nouvelle unité dite « de réduction directe », d'une capacité de 2,5 Mt, pour transformer le minerai de fer avec de l'hydrogène et sans charbon. Pour l'association France Hydrogène, l'industrie pourrait consommer 475 000 tonnes d'hydrogène décarboné d'ici à la fin de décennie. Un produit essentiellement fabriqué à partir d'électrolyse

de l'eau, dès 2025, précisent GRTgaz et Teréga, même si le reformage du gaz naturel avec capture et stockage du carbone, ainsi que la gazéification de la biomasse sont également évoqués. « Les électrolyseurs ou les piles à combustible sont aujourd'hui techniquement matures et prêts au déploiement », souligne France Hydrogène dans son livre blanc « Faire de la France un leader de l'hydrogène renouvelable ou bas carbone ».

### Une compétitivité qui se précise

Certes, ces technologies restent assez chères. Mais le prix de l'électricité solaire a chuté de plus de 80 % depuis 2010, quand celui de l'éolien baissait de plus d'un tiers. Une telle réduction des coûts, associée à l'inflexion des prix des électrolyseurs et des piles à combustible, devrait assurer la compétitivité de l'hydrogène vert à l'horizon 2030. À cette date, le cabinet Bloomberg New Energy Finance estime même qu'il sera moins cher que son équivalent à base d'énergies fossiles. Encore faut-il trouver des producteurs. Pour Dominique Mockly, P-DG de Teréga, c'est la présence d'infrastructures qui

# 10 Mt

D'HYDROGÈNE CARBONÉ sont consommées chaque année en Europe pour le raffinage du pétrole, la production d'engrais ou la chimie.



**Votre partenaire pour la production d'hydrogène vert.**

A vos côtés dans l'élaboration de votre unité de production d'hydrogène vert, grâce à notre gamme complète d'équipements, des échangeurs de chaleur aux générateurs d'eau douce.



Plus d'informations sur [alfalaval.fr/hydrogene](http://alfalaval.fr/hydrogene)



## INDUSTRIE

**2 à 3 Mds €**  
**SERONT INVESTIS DANS**  
 l'hydrogène par EDF  
 d'ici à 2030. Objectif :  
 produire 450 000 tonnes  
 d'hydrogène par an en  
 économisant 3 millions de  
 tonnes de carbone.

« Nous sommes dans une phase où les projets construisent les modèles finaux. (...) Nous allons commencer par des expérimentations qui vont crédibiliser le mode de production et les différents usages. »

DOMINIQUE MOCKLY  
 TERÉGA

TotalEnergie et Engie espèrent exploiter un équipement de 40 MW dans la bioraffinerie de La Mède, alimenté en électricité par des fermes solaires d'une capacité globale de plus de 100 MW.

► permettra la naissance d'un marché. « Nous sommes dans une phase où les projets construisent les modèles finaux. (...) Nous allons commencer par des expérimentations qui vont crédibiliser le mode de production et les différents usages », expliquait-il lors de la conférence H2 entreprises du 10 janvier dernier. Comme pour le secteur de la mobilité, c'est donc souvent le partenariat entre un producteur et un industriel qui favorise la naissance d'un projet.

### Des partenariats indispensables

ArcelorMittal s'est ainsi associé avec Air Liquide, à Dunkerque, et avec le concepteur de technologies d'électrolyse Genvia pour l'installation d'un démonstrateur dans son usine de Saint-Chély-d'Apcher, en Lozère. À Vannes, le site de Michelin accueillera l'électrolyseur d'Engie solutions, financé en partie par l'industriel, qui alimentera ce dernier en hydrogène vert pour le tréfilage métallique de ses pneus. L'équipement, volontairement surdimensionné, ravitaillera aussi les véhicules de la collectivité et des entreprises locales. « Cela montre que l'on peut arriver à des prix compétitifs, en réfléchissant en mode collectif et pour d'autres usages », commentait Valérie Bouillon-Delporte, directrice de l'écosystème Hydrogène de Michelin, lors de la table ronde de l'Ademe du 30 mars dernier. Le producteur d'engrais Borealis, pour sa part, a signé un protocole d'accord avec Hynamics, filiale du groupe EDF, pour étudier la possibilité de produire 6 400 tonnes d'hydrogène bas carbone par an, dans trois à quatre ans, au sein de son usine d'Ottmarsheim, près de Mulhouse, grâce à une station d'électrolyse de 50 MW. Le projet concerne 15 % de son activité mais il économisera 48 500 tonnes de CO<sub>2</sub> par an.

### Au-delà des prévisions initiales

En 2025, Hynamics installera également un électrolyseur, de 330 MW cette fois, dans la cimenterie Vicat de Montalieu-Vercieu (38) pour produire plus de 200 000 tonnes de méthanol par an, en associant son hydrogène au CO<sub>2</sub> capté à la sortie du four. « Soit un quart à un tiers de la consommation totale de méthanol en France, aujourd'hui intégralement importée », indiquait Julien Poillot, directeur des projets hydrogène chez Vicat, lors de la conférence H2 entreprises. Un projet clef pour passer à l'échelle industrielle, qui pourra ensuite être dupliqué dans d'autres industries, partout dans le monde. « Pour l'instant, il est autoportant car nous avons en main les tenants et les aboutissants. Mais si demain on le connecte à des réseaux, nous pourrions aussi utiliser leurs synergies, ce sera un plus », ajoute Julien Poillot. Enfin, dans deux ans, TotalEnergie et Engie espèrent exploiter un équipement de 40 MW dans la bioraffinerie de La Mède, alimenté en électricité par des fermes solaires d'une capacité globale de plus de 100 MW. Celui-ci devrait générer 15 tonnes d'hydrogène vert par jour pour alimenter la production des biocarburants. À terme, de nouvelles fermes renouvelables pourraient permettre d'atteindre une production de 15 tonnes d'hydrogène vert par jour. Grâce à cette dynamique industrielle, d'après le cabinet Bloomberg New Energy, les ventes d'électrolyseurs devraient quadrupler dès cette année dans le monde, emmenées par cinq secteurs : acier, ammoniac, méthanol, produits chimiques et raffinage du pétrole. À en croire un autre cabinet, Guidehouse Insights, leur capacité totale devrait même dépasser largement les prévisions initiales, en passant de 1,3 GW à la fin de cette année à 104,6 GW à l'horizon 2031. ①

Nadia Gorbatko



## Affiner la connaissance des phénomènes et des risques liés à l'hydrogène



—L'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) est engagé depuis plus de 20 ans dans des études et travaux de recherche liés à la sécurité de l'hydrogène. Le changement d'échelle de la production, du stockage et des usages constitue un nouveau défi pour l'Institut.

Avec **Benjamin Truchot**, chargé de mission approche intégrée de l'observation à la simulation à l'Ineris

### **Q** Quel rôle joue l'Ineris dans la sécurisation de l'hydrogène en tant que vecteur énergétique ?

**B. T. :** Nous sommes présents sur trois piliers : l'appui aux pouvoirs publics, à qui nous apportons un éclairage technique sur le volet des risques contribuant ainsi à construire la réglementation, la recherche appliquée et les services aux entreprises pour les accompagner dans la sécurisation de leurs développements technologiques. Nous couvrons l'ensemble de la chaîne de valeur, depuis la production – et notamment les nouvelles technologies d'hydrogène décarboné - jusqu'aux usages futurs, de mobilité en particulier, ce qui inclut les problématiques liées à la sécurité des réservoirs.

### **Q** Quels sont les axes de recherche de l'Ineris dans ce domaine ?

**B. T. :** La finalité de nos travaux est d'améliorer la compréhension des phénomènes associés à l'hydrogène, notamment autour de la combustion, de l'explosion ou encore de la propagation de la flamme dans des nuages d'hydrogène. L'hydrogène liquide (ou cryogénique) soulève de nombreuses questions. Son stockage à une température d'environ - 250 °C crée des phénomènes physiques nouveaux, que nous devons comprendre

afin d'imaginer les mesures et les barrières de sécurité. Enfin, nous menons des analyses de risque sur les procédés innovants, tels que les électrolyseurs de grande puissance et les nouvelles technologies de piles à combustible. Notre objectif étant d'accompagner ces développements en privilégiant le « Safe by design ».

### **Q** Et sur le plan industriel, de quelle manière accompagnez-vous les acteurs de l'hydrogène ?

**B. T. :** L'Ineris détient des moyens de modélisation qui vont de la corrélation la plus simple aux simulations 3D, que nous améliorons en permanence de manière à rester en phase avec les nouvelles technologies. De l'étude du risque ATEX à celle du risque majeur d'explosion, le champ est très large.

En plus de nos propres installations d'essais, nous pouvons mettre à la disposition des acteurs – producteurs ou usagers de l'hydrogène – des plateformes d'essais pour caractériser un phénomène qui serait mal appréhendé par la modélisation. Nous pouvons donc accueillir un procédé industriel sur notre site et le mettre en œuvre jusqu'à la défaillance, pour dimensionner les mesures de sécurité. Nous n'avons cessé d'affiner nos connaissances.

## INDUSTRIE

## ▼ GRAND ANGLE

# UNE FILIÈRE EN ORDRE DE MARCHÉ

— Avec l'annonce des 15 projets sélectionnés dans le cadre du PIIEC hydrogène, l'État français a donné le top départ de l'industrialisation de la chaîne de valeur de ce vecteur énergétique. Certaines usines ont déjà commencé leurs activités, d'autres s'y préparent. Beaucoup reste à faire. Détails.

**E**n annonçant, en mars dernier, les quinze projets soutenus par la France dans le cadre du Projet important d'intérêt européen commun (PIIEC) pour l'hydrogène, l'État a, dans le même temps, dessiné l'armature de la chaîne de valeur française de ce vecteur énergétique et établi ses fondations pour les décennies à venir. Subventionné à hauteur de 1,5 Md€, au minimum, pour les années 2021 à 2022, l'ensemble se répartit entre vingt-trois grands sites, largement concentrés sur les parties nord et est du pays, vers les zones portuaires et les frontières. Destiné à soutenir l'essor d'une filière industrielle nationale solide de l'hydrogène, en évitant de reproduire les erreurs du passé dans le solaire et l'éolien, ce programme s'appuie à la fois sur des grands groupes et sur des acteurs à fort potentiel, présents dans presque tous les segments du marché. « Pour que la chaîne de valeur fonctionne de manière fluide, il faut que des industriels s'en emparent et travaillent sur ses éventuels verrous. Il faut qu'il y ait des producteurs et des consommateurs. C'est ce que le PIIEC a vocation à financer », explique Nicolas des Courtils, analyste en intelligence économique et membre de la coordination hydrogène de l'IFP Énergies nouvelles.

## Des vis et des boulons

Parmi ces industriels, on trouve tout d'abord des fabricants d'électrolyseurs ou d'éléments spéciaux, comme John Cokerill qui prévoit d'installer une gigafactory près de Mulhouse. McPhy s'implantera pour sa part à Belfort, Genvia à Béziers et Grenoble. Afin d'atteindre une capacité d'un gigawatt par an, en 2030, la start-up Elogen, déjà présente aux Ulis, devrait construire également, dès l'année prochaine, une deuxième unité de production d'électrolyseurs à Vendôme, opérationnelle en 2025. Viennent ensuite les producteurs d'hydrogène vert ou décarboné. Air Liquide se dotera de deux usines. L'une dans le port du Havre, d'une capacité initiale de 200 MW, vouée notamment à des usages industriels (TotalEnergies) et de mobilité lourde sur l'axe Seine. L'autre, près de Dunkerque, en 2025, afin d'alimenter la future ligne de production d'acier DRI d'ArcelorMittal. Elle devrait atteindre une puissance de 400 MW en 2027. Dans le cadre du projet Masshyla, Engie fournira théoriquement de l'hydrogène à TotalEnergies, dès 2024, sur le site de La Mède, via un électrolyseur de 36 MW. Quant à EDF, via sa filiale Hynamics, elle approvisionnera en 2025 la cimenterie Vicat de Montalieu (Isère). ▶



**H<sub>2</sub>**  
Hydrogen

« Il est important  
d'alimenter les  
écosystèmes afin d'arriver  
à passer à l'échelle  
industrielle, avant de se  
limiter à l'hydrogène vert  
ou renouvelable. »

IFPEN

## INDUSTRIE

**Jusqu'à l'utilisateur final**

▶ Du côté des fabricants de piles à combustible (PAC), Symbio, créée par Michelin et Faurecia, devrait ouvrir sa gigafactory de Saint-Fons, près de Lyon, en 2023, tandis que Hyvia a déjà mis en service une première ligne de production à Flins-sur-Seine, en région parisienne, destinée aux véhicules utilitaires. D'ici à la fin de l'année, la coentreprise de Renault et Plug-Power espère atteindre un rythme de 1 000 PAC par an. Le site devrait également accueillir une ligne d'assemblage de stations à hydrogène, ainsi qu'un électrolyseur de 1 MW. La fabrication des réservoirs et des matériaux nécessaires, maillons indispensables de la chaîne, sera assurée par Arkema, Plastic Omnium et Faurecia, respectivement en Nouvelle Aquitaine, dans l'Est et dans les Hauts-de-France. En bout de ligne, enfin, des acteurs de la mobilité se sont positionnés : Hyvia et Alstom, à Saint-Ouen et à Tarbes, pour le développement de briques destinées à la traction ferroviaire, mais aussi des industriels comme ArcelorMittal, TotalEnergies ou Vicat. « Si on veut décarboner massivement l'industrie, il faut décarboner l'industrie lourde. Or, une raffinerie, par exemple, consomme environ 6 tonnes d'hydrogène par heure. Si l'on réussit à faire accepter l'hydrogène à l'industrie lourde, il y aura donc une énorme demande », rappelle Nicolas des Courtils.

**D'autres maillons en complément**

À ces piliers de la stratégie industrielle française en matière d'hydrogène s'ajoutent une multitude d'autres acteurs, dont certains de taille très conséquente, venus compléter l'écosystème global. Ils bénéficient parfois d'autres types de subventions, comme celles de l'appel à projets Écosystèmes territoriaux d'hydrogène de l'Ademe, qui permettra d'atteindre une capacité totale de production de 5 MW, un peu partout sur le territoire. Le plus connu de ces intervenants tiers est peut-être Lhyfe. Fin septembre, en Vendée, ce producteur d'hydrogène

vert a inauguré un site de fabrication à partir d'énergie éolienne, avec l'objectif d'atteindre une tonne par jour. Un premier projet parmi une soixantaine d'autres en réserve... Mais il faudra aussi compter avec EDF qui, outre son projet avec Vicat, compte investir 2 à 3 Mds € pour atteindre une capacité mondiale de 3 GW d'hydrogène décarboné dans le monde, par le biais de Hynamics. Moins qu'Engie, toutefois, qui planifie un total de 4 GW de capacités en 2030, complétés de 700 km de réseau et d'un térawattheure de capacité de stockage. On peut citer également Hydrogène de France (HDF Energy), installé en Martinique et en Guyane, bientôt à Bordeaux, en passe de devenir un industriel de premier plan pour les PAC de forte puissance. Les constructeurs et gestionnaires de stations d'avitaillement, comme Air Liquide, Ataway HRS ou McPhy, sont par ailleurs bien présents. Autres entreprises très dynamiques sur le secteur : Bosch pour les équipements PAC et les futurs moteurs thermiques à hydrogène, Stellantis pour les utilitaires légers, Gaussin pour les engins de manutention, Airbus, Blue Spirit Aero et Delair Tech pour les avions ou encore Gen-Hy pour les membranes échangeuses d'anions.

**Des verrous prêts à sauter**

Un assemblage somme toute assez cohérent, équilibré et bien diversifié. On y retrouve l'essentiel, commente Pierre Paturel, directeur d'études chez Xerfi. « Il fait la part belle à la production d'équipements clefs et la plupart y sont représentés, sans oublier quelques projets d'utilisation. Les grands groupes impliqués sont au rendez-vous. C'est ce qui était attendu. » Reste à ces industriels à réussir leur passage à l'échelle et à développer leurs capacités de production pour atteindre les 6,5 GW visés par le plan français. « Une raffinerie a besoin d'une puissance de 500 MW », rappelle Nicolas des Courtils. Il leur faudra ensuite s'assurer que la production d'électricité renouvelable suive la montée en puissance des électrolyseurs, donc que la France

Avec

**9 Mds €****DE SUBVENTIONS**

annoncées, la France est, avec l'Allemagne, le pays européen qui apporte le plus fort soutien public à l'hydrogène. Pour la période 2021 à 2022, 2 Md€ ont déjà été budgétés.

La PAC montée, prête à subir les derniers tests de qualité dans l'usine Hyvia.



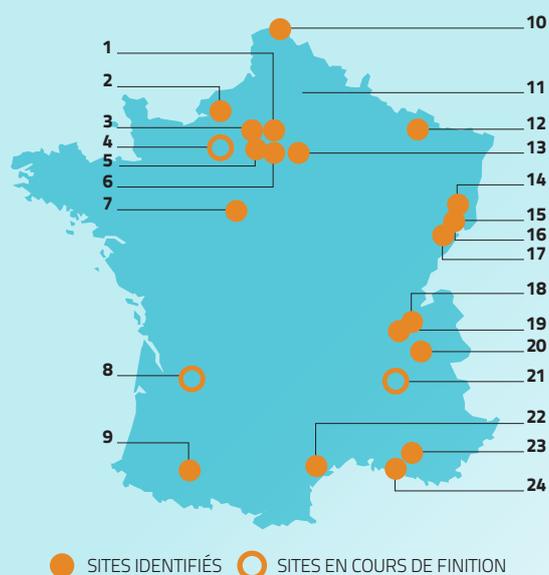
© MC Productions



Atelier de montage de stacks de puissance pour la technologie d'électrolyse à haute température développée par Genvia.

## PROJETS PRÉNOTIFIÉS PAR LA FRANCE À LA COMMISSION EUROPÉENNE DANS LE CADRE DU PIIEC SUR L'HYDROGÈNE

**PIIEC** : Projet important d'intérêt européen commun. C'est le blanc-seing donné aux pays par l'Union européenne pour subventionner des projets sans être accusés de distorsion de concurrence.



Air Liquide Normand'Hy	<b>2</b> Saint-Jean -de-Folleville	Air Liquide France Industrie /Arcelor Mittal	<b>10</b> Dunkerque
Hyvia	<b>3</b> Flins-sur-Seine	Plastic Omnium	<b>11</b> Hauts-de-France
	<b>5</b> Villiers-Saint-Frédéric	John Cockerill	<b>14</b> Aspach-Michelbach
	<b>12</b> Batilly	Mc Phy/Alstom	<b>15</b> Belfort
	<b>13</b> Gretz-Armainvilliers	Faurecia	<b>16</b> Allerjoie
Arkema	<b>4</b> Normandie		<b>17</b> Bavans
	<b>21</b> Auvergne-Rhône-Alpes	Hynovi	<b>18</b> Montalieu
	<b>8</b> Nouvelle-Aquitaine	Symbio	<b>19</b> Saint-Fons
Elogen	<b>6</b> Les Ulis	Genvia	<b>20</b> Grenoble
	<b>7</b> Vendôme		<b>22</b> Béziers
Alstom	<b>1</b> Saint-Ouen	Masshylia	<b>24</b> Châteauneuf-les-Martigues
	<b>9</b> Tarbes		
	<b>23</b> Aix-en-Provence		

## INDUSTRIE

▷ rattrape son retard en la matière, tout en redressant la barre dans le nucléaire. « Aujourd'hui, c'est un défi, mais le Réseau de transport d'électricité pense que c'est faisable », précise Nicolas des Courtils. Pour Pierre Paturel, le plan français consiste surtout à produire massivement et localement de l'hydrogène décarboné à partir de l'électricité du réseau, donc en grande partie nucléaire. « L'objectif est notamment de profiter des tarifs réduits et de l'approvisionnement continu permis théoriquement par le parc nucléaire historique », observe-t-il. Pour ce dernier, les problèmes de compétitivité liés à l'augmentation des prix de l'électricité pourraient par ailleurs être compensés par une partie des subventions de l'État à la production. Mais beaucoup d'inconnues réglementaires et techniques perdurent en la matière.

### Et des points de vigilance

D'ici là, l'Ifpen propose ses procédés de capture de CO<sub>2</sub>, permettant une production industrielle d'hydrogène d'origine fossile, compensée par la capture et la séquestration du CO<sub>2</sub>. « Il est important d'alimenter les écosystèmes afin d'arriver à passer à l'échelle industrielle, avant de se limiter à l'hydrogène vert ou renouvelable. Cela permet à l'industrie de disposer de ce dont elle a besoin et d'amorcer la pompe pour accélérer le processus hydrogène », analyse Nicolas des Courtils. Le stockage de l'hydrogène en cavités salines particulièrement étanches ne devrait théoriquement pas poser trop de difficultés, la France disposant d'une vingtaine de sites. La question de son acheminement, en revanche, pourrait s'avérer plus épineuse, puisque son transport par camion coûte cher et que cette molécule volatile a tendance à migrer et à traverser les pipelines. Faut-il en créer de nouvelles ou mettre à niveau le réseau existant? Rien n'a encore été tranché, en attendant le développement d'une production suffisamment importante

pour nécessiter son transit. Mais si la France tient ses objectifs, en termes de capacités, à l'horizon 2030, une démarche collective de planification et de dimensionnement des infrastructures deviendra rapidement nécessaire, comme le réclament GRTgaz et Teréga.

### La concurrence asiatique en embuscade

L'industrie française devra par ailleurs se préserver de la concurrence asiatique, susceptible d'avancer bien plus vite que la France, en raison de ses volumes, et d'atteindre rapidement des coûts de production d'équipements plus faibles que les nôtres. Déjà, les entreprises chinoises proposent des électrolyseurs alcalins à des prix défiant toute concurrence. « Le pays se retrouvera certainement en surcapacité et ses entreprises seront tentées de vendre leurs produits à l'export à bas prix, reproduisant ce qui s'est passé dans le solaire. Cela pourrait notamment constituer un risque important pour l'industrie française naissante des électrolyseurs, prévient Pierre Paturel. Si cette menace se concrétise, l'Union européenne devrait cette fois réagir promptement en mettant en place des barrières tarifaires à l'entrée. » Restera alors à faire face à la concurrence intra-européenne. La France peut certes revendiquer une place de leader mondial sur le segment des réservoirs, avec Faurecia et Plastic Omnium, mais elle part un peu en retard sur les électrolyseurs et les piles à combustible. En particulier par rapport à des entreprises allemandes et norvégiennes, note Pierre Paturel. « Mais sur un marché de l'hydrogène encore embryonnaire, c'est loin d'être un handicap insurmontable. Et c'est tout l'intérêt de ces subventions massives accordées à cette industrie, au moment où le marché va décoller. Sans elles, beaucoup de projets ne pourraient pas voir le jour. Ou, en tout cas, pas en France. » ⑩

« Les grands groupes impliqués sont au rendez-vous. C'est ce qui était attendu. »

Xerfi

Nadia Gorbatko

### Après les investissements : le ruissellement?

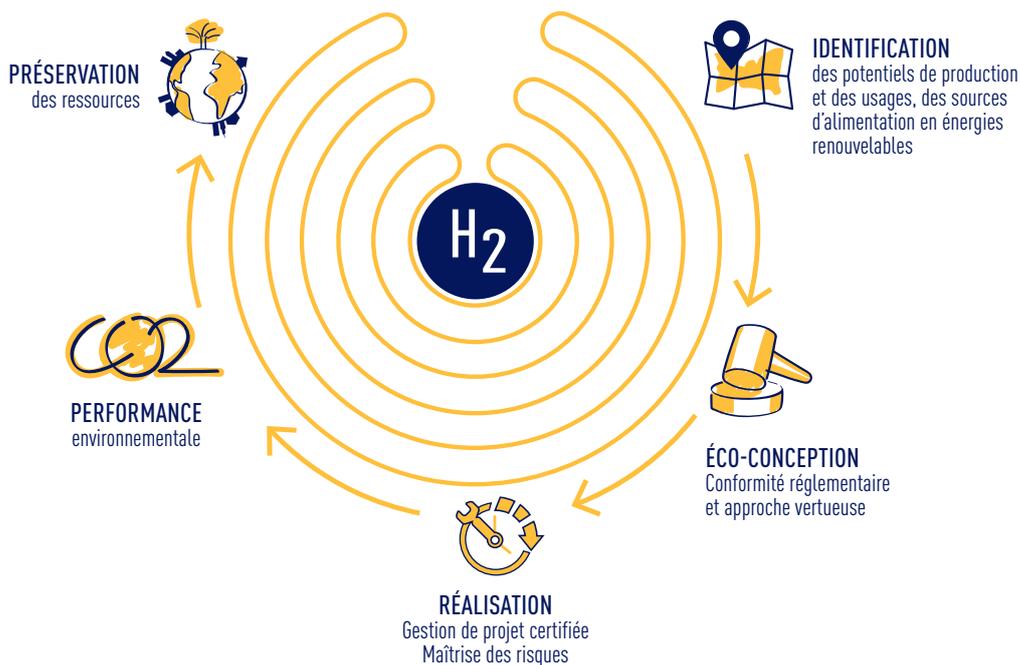
— 10 Mds€ cumulés à l'horizon 2030, puis 20 milliards de plus pour la période 2030 à 2040, à raison de 2 M€ par mégawatt installé : tel devrait être, selon le Groupement des entreprises de la filière électronique (Gimelec), le montant des retombées du développement de l'hydrogène vert, en France, pour les fabricants de matériel électrique et d'automatismes. « Nous identifions un potentiel en forte croissance atteignant, dès 2030, 3 Mds€ par an », précise Rodolphe de Beaufort, délégué général adjoint du syndicat. Cette manne, qui devrait notamment profiter à de nombreuses PME et d'ETI, découlera, dans un premier temps, des besoins en équipement des industries. Des transformateurs aux systèmes de contrôle-commande, l'apport des professionnels du Gimelec couvre en effet 20 à 40 % de la valeur d'un électrolyseur. Cette croissance du marché impliquerait toutefois une forte coordination des industriels sur des aspects tels que la standardisation des architectures et des produits.



# SUEZ Consulting vous accompagne sur l'ensemble de la chaîne de valeur de vos projets hydrogène vert

## NOTRE PROPOSITION DE VALEUR :

- ⇒ Étudier les besoins et les potentiels des territoires et organisations
- ⇒ Caractériser les sources d'énergies décarbonées, les besoins en eau et les conditions d'approvisionnement
- ⇒ Piloter le projet : permitting, leviers de financement (innovation, finance carbone, subventions,...)
- ⇒ Concevoir l'ingénierie des infrastructures des sites et superviser la réalisation des travaux



## MEMBRES



+70 ans d'expérience



Un engagement en faveur de l'environnement



34 implantations en France



<https://webpublication.suez.consulting/>

Contact

Thomas VOLKMAR

Directeur Industrie & Grands-Comptes - Direction commerciale industrie / +33 6 75 90 46 60 / thomas.volkmar@suez.com

## INDUSTRIE

— Les écosystèmes portuaires concentrent un grand nombre d'acteurs intéressés par l'hydrogène pour enclencher leur décarbonation. En tant que hubs multimodaux, ils sont aussi au cœur des enjeux de mobilité. Une configuration idéale pour massifier les projets selon **Thomas Gauby**, chargé de mission et animateur de la thématique « maritime et fluvial » chez France Hydrogène.

AVIS D'EXPERT

# HYDROGÈNE ET ÉCOSYSTÈMES PORTUAIRES

## DES AMBITIONS CONVERGENTES AUTOUR D'ATOUTS ET D'ACTIFS COMMUNS



© France Hydrogène

**D**epuis maintenant un an et demi, la France s'est fixée des objectifs ambitieux en termes de déploiement de la filière hydrogène, marqués notamment par la volonté de déployer 6 500 MWeq. de capacité de production d'hydrogène décarboné ou renouvelable en France d'ici à 2030. Soit... un facteur 1 000 à réaliser en moins de dix ans en ciblant prioritairement la décarbonation de l'industrie mais également les mobilités professionnelles, lourdes et intensives. Les crises majeures rencontrées par l'Europe ces dernières semaines ne font que renforcer et accélérer l'intérêt en faveur de l'hydrogène.

Pour être au rendez-vous, la filière et l'ensemble de la chaîne de valeur doivent donc multiplier les efforts et les projets d'envergure capables de conjuguer écosystèmes territoriaux, pérennité économique et maillage national. L'équation n'est pas simple à résoudre mais certains territoires présentent des caractéristiques s'approchant d'un optimum. Parmi eux se trouvent les écosystèmes portuaires, véritables « pivots » du changement d'échelle.

En plus de nombreuses annonces faites ces derniers mois par les porteurs de projet, France Hydrogène a également réalisé une analyse du potentiel de déploie-

Les écosystèmes portuaires constituent de véritables pivots du changement d'échelle.



© sergiy1975 - stockadobe.com

ment de l'hydrogène sur l'ensemble des usages en zone portuaire<sup>(1)</sup>. En s'appuyant sur le retour d'expérience de l'étude stratégique menée par le GPM de Nantes-Saint-Nazaire et en comptant sur la mobilisation sans faille de sept autorités portuaires partenaires<sup>(2)</sup> représentant douze sites, nous avons pu mettre en évidence toutes les opportunités de décarbonation offertes par l'hydrogène (et ses dérivés) et les effets d'échelle induits par les spécificités portuaires. Au total, entre 220 000 et 615 000 tonnes d'hydrogène pourraient être consommées dans les douze sites étudiés.

### Les ports dans le changement d'échelle de la filière hydrogène

À l'échelle nationale, les perspectives pour l'hydrogène sont considérables<sup>(3)</sup> et segmentées de façon inégale selon différents usages : de 60 à 70 % des volumes consommés seraient dirigés vers l'industrie, qui se retrouve donc au cœur des stratégies décennales, sui-

vie par les mobilités lourdes et intensives (VUL, camions, bus, trains, bateaux, navires, etc.).

Force est de constater que l'ensemble de ces usages se retrouvent dans les principaux ports français. Dans l'industrie, raffinage, ammoniac, sidérurgie, chimie et eFuels se répartissent entre les grands ports maritimes de Fos-Marseille, Dunkerque, le Havre et Rouen (Haropa) mais également ceux de la façade ouest, à savoir Nantes-Saint-Nazaire (avec Donges notamment) et Bordeaux. Pour chacun de ces usages, les volumes en jeu sont considérables et représentent des milliers, voire parfois des dizaines de milliers de tonnes d'hydrogène par site dans l'optique de réduire drastiquement les émissions de CO<sub>2</sub> qui, elles, peuvent se compter en millions de tonnes.

L'enjeu est donc considérable et implique des projets de très grande envergure. Leur émergence pourra également servir à d'autres usages, notamment ceux de mobilité, en proposant un hydrogène à coût compétitif dans l'enceinte portuaire. En effet, les ports font partie



PUBLI-COMMUNIQUÉ

# TSG se positionne dans la mobilité hydrogène



Ainsi, Jean-Marc Bianchi, PDG du Groupe souligne : « Nous allons accélérer notre présence dans l'hydrogène et participer à son développement au service de la mobilité propre. »

TSG propose aujourd'hui la conception et l'installation de stations H<sub>2</sub>, et s'entoure

de partenaires constructeurs reconnus pour leurs équipements à forte technicité.

La maintenance des stations hydrogène étant un point clé pour garantir leur bon fonctionnement, leur performance et leur rentabilité, TSG assure un haut niveau de

TSG, prestataire de service multi énergies, est connu pour son expertise dans la conception, la réalisation et la maintenance de stations de distribution de carburants traditionnels et alternatifs, de gaz naturel et d'électricité. Forte de son expérience, il est tout naturel que TSG se tourne vers l'hydrogène.

service partout en Europe. Grâce à plus de 200 ingénieurs et techniciens, spécialistes gaz, formés régulièrement à l'hydrogène, TSG peut intervenir en maintenance curative 24h/24 et 7j/7 ou en maintenance préventive.

La dimension internationale de TSG lui permet de s'appuyer sur les retours d'expérience de ses entités, notamment au Benelux et en Allemagne, où ont été déployées 101 stations hydrogène à fin 2021 sur 228 pour l'ensemble de l'Europe. ■

#### CONTACT

Guillemette Leveau  
Ingénieure Support Hydrogène Europe  
Tél. : 06 73 13 57 20  
mail : guillemette.leveau@tsg-solutions.com  
Site : www.tsg-solutions.com

## INDUSTRIE

« Il n'y a pas que les grands ports maritimes concernés par l'hydrogène, mais bien l'ensemble des ports, y compris, ceux fluviaux et/ou spécialisés. »

► des principaux hubs multimodaux : non seulement des navires et bateaux de toute taille circulent dans leurs eaux, mais des milliers de camions empruntent tous les jours les routes des plus grands ports. Des trains de fret et de nombreux engins de manutention et de livraison (véhicules utilitaires, chariots élévateurs, reach-stakers, grues, etc.) s'activent également pour assurer le bon fonctionnement des activités logistiques. L'ensemble de ces usages de mobilité, liés à des conditions d'exploitation contraintes aussi bien en termes de besoin d'autonomie que de temps de recharge, correspondent précisément aux développements des acteurs de la filière hydrogène.

L'ensemble de ces caractéristiques font de l'hydrogène et ses dérivés<sup>(4)</sup> une solution complète au service de la transition énergétique, de la diversification économique et d'une offre de service élargie des grands ports français. Les projets annoncés ces dernières semaines vont en ce sens : Normand'Hy à Port-Jérôme (200 MW), ArcelorMittal à Dunkerque et Fos-sur-Mer, Masshyla à La Mède, H2V à Marseille (600 MW), GH2 à Bordeaux (300 MW), etc.

Cependant, il n'y a pas que les grands ports maritimes concernés par l'hydrogène, mais bien l'ensemble des ports, y compris, ceux fluviaux et/ou spécialisés.

### Une diversité de solutions capables de répondre à de nombreux usages et territoires

Au regard de l'offre technologique et industrielle actuelle ou future, l'hydrogène peut répondre à de très nombreuses configurations portuaires et territoriales. La plupart des ports l'ont aujourd'hui compris, voire montent d'ores et déjà des projets ambitieux. Les ports bretons de Lorient, Vannes, Brest ou Saint-Malo comme ceux du sud de la France avec Toulon ou Sète voient en l'hydrogène une occasion de décarboner massivement les navires, d'abord côtiers, puis de plus gros tonnage comme des ferries. Idem, pour la navigation intérieure transitant par des ports comme ceux de Lyon, Strasbourg, Gennevilliers, Paris ou Mulhouse, qui sont également d'importants centres de mobilité à la fois routière et ferroviaire, parfois comparables aux GPM.

La massification pourra se faire rapidement, avec des objectifs environnementaux de plus en plus importants et la montée en puissance de l'ensemble de l'écosystème offrant ainsi une plus grande visibilité aux usagers exerçant en zone portuaire. Cependant, ce déploiement devra valider différentes étapes avec des « paliers » à ne pas négliger. Des démonstrateurs, des « Proof of Concept », seront indispensables à court terme et permettront d'expérimenter en conditions réelles la viabilité et l'opérationnalité des équipements hydrogène.

Certains ports choisissent un autre positionnement et se voient avant tout comme des centres de production et de distribution massifs d'hydrogène décarboné ou renouvelable. C'est le cas de Port-La-Nouvelle, dans le

cadre notamment du projet Corridor H2 avec, à terme, une production de 4 tH<sub>2</sub>/j pour alimenter des navires et bateaux, mais aussi plusieurs dizaines de camions qui empruntent entre autres l'A9.

### Intégrer les ports pour un déploiement structuré

Différentes typologies de ports et de nombreux usages : le bilan dressé ouvre de vastes perspectives. S'il ne faut pas minimiser les nombreux freins et verrous rencontrés, les caractéristiques portuaires doivent être perçues comme une opportunité de structurer le changement d'échelle autour de schémas de distribution et d'avitaillement capables d'assurer une montée en puissance progressive et coordonnée incluant tous les usages pertinents. L'hydrogène et ses dérivés doivent être pensés comme des solutions globales pour l'ensemble des activités portuaires, surtout que de nombreux atouts et actifs peuvent être valorisés pour accélérer la mise en œuvre de projets d'envergure. On peut notamment penser aux infrastructures d'intérêt, comme les réseaux gaziers et électriques denses ou encore les actifs énergétiques parfois de grande dimension (nucléaire, EMR, hydroélectricité, etc.). L'innovation, à tous les niveaux de maturité, a également un rôle clé à jouer.

Les questions de répartition des investissements, de phasage des différentes étapes, d'implication des acteurs concernés, de modèles logistiques deviennent alors absolument clés, en plus des autres (réglementation, assurances, etc.). Les écosystèmes portuaires ont également intérêt à articuler leurs déploiements hydrogène avec les territoires voisins pour renforcer leur centralité et viabiliser l'ensemble des déploiements envisagés.

Dans l'émergence d'une « architecture » hydrogène nationale constituée de bassins et de corridors, capable de faciliter les mutualisations et l'équilibrage entre sites de production et de consommation, les ports ont un rôle fondamental et central à jouer, en lien avec de possibles imports-exports.

De nombreux outils et mécanismes existent aujourd'hui, à commencer par les différentes stratégies nationales. À nous de nous en emparer pour ancrer définitivement l'hydrogène au cœur des ambitions portuaires ! **1**

**Thomas Gauby,**  
Chargé de mission, animateur de la thématique  
« Maritime et Fluvial » chez France Hydrogène

1/ Analyse « Ecosystèmes portuaires et hydrogène : une ambition commune à bâtir », décembre 2021, France Hydrogène.

2/ Haropa, CNR, Région Bretagne, Région Hauts-de-France, GPM Marseille, Port Autonome de Strasbourg, Port de Sète.

3/ Livre blanc « Trajectoire pour une grande ambition hydrogène 2030 », septembre 2021, France Hydrogène. Deux trajectoires nationales de déploiement ont été proposées dans le cadre de la mise en œuvre de la Stratégie nationale hydrogène : entre 680 000 et 1 090 000 tonnes d'hydrogène décarboné ou renouvelable consommées chaque année d'ici à 2030.

4/ Méthanol, ammoniac et GNL de synthèse pour, notamment, la propulsion des plus grands navires, mais aussi des usages industriels.

## 3 QUESTIONS À...

# Quel rôle pour les infrastructures gazières dans le développement de la filière hydrogène ?



— Avec Teréga Solutions, sa filiale dédiée aux énergies renouvelables, Teréga veut mettre à profit son savoir-faire d'acteur historique du transport et du stockage du gaz naturel. Objectif : améliorer les capacités de stockage et de transport de l'hydrogène.

Avec **William Rahain**, Directeur Adjoint de la Business Unit Hydrogène de Teréga Solutions

### **Q** Comment Teréga Solutions se positionne sur la chaîne de valeur de l'hydrogène ?

**W. R.** : Notre ambition est d'être un acteur de référence de la gestion d'infrastructures hydrogène. Nous participons déjà à l'émergence d'écosystèmes autour de projets de décarbonation. Nous apportons nos compétences en matière de traitement, purification, comptage, compression, stockage et transport ainsi que notre savoir-faire en construction, exploitation et maintenance des stations de distribution. Par ailleurs, nos solutions multi-énergies (H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) permettent aux industries de valoriser leur CO<sub>2</sub> dans du méthane de synthèse ou des carburants verts (méthanol, e-fuel, kérosène).

### **Q** Quel rôle les infrastructures vont-elles jouer dans le développement de la filière hydrogène ?

**W. R.** : Il est possible d'adapter les canalisations actuelles en Europe pour qu'elles puissent transporter de l'hydrogène, avec un coût et un bilan carbone optimisés. D'après nos projections (European Hydrogen Backbone), nous pourrions atteindre un prix du kg d'hydrogène transporté compris entre 0,09 et 0,17 €

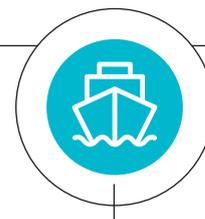
pour 1 000 km. À titre de comparaison, le transport par camion coûte actuellement de 2 à 4 € pour 100 km. Il suffirait, pour y parvenir, de convertir 2/3 du réseau existant et de construire 1/3 de nouvelles canalisations pour atteindre un réseau européen d'hydrogène de 40 000 km. C'est le projet de « dorsale hydrogène » à horizon 2040.

### **Q** Quelle est la valeur ajoutée d'un gazier dans la concrétisation de ces perspectives ?

**W. R.** : Ces projections de réseau européen d'hydrogène permettent d'envoyer un signal fort aux acteurs de l'hydrogène. Avec la consultation nationale sur les besoins que Teréga et GRTgaz viennent de réaliser, nous pouvons également planifier l'adaptation des infrastructures aux usages spécifiques de l'hydrogène. Nos savoir-faire dans les domaines du transport par canalisation, de la compression, du comptage et du stockage sont précieux pour les producteurs d'électricité solaire ou éolienne en quête de solutions de valorisation. Notre valeur ajoutée, c'est aussi notre expertise géologique qui permet de développer les premières capacités de stockage souterrain de l'hydrogène, avec le projet Hygéa.

## INDUSTRIE

## FICHE PROJET



Transports

# LE PROJET EUROPÉEN H2Bordeaux s'affine

— Regroupant de multiples activités productrices ou consommatrices potentielles d'hydrogène, les ports constituent des territoires propices à l'expérimentation et à la construction de l'écosystème hydrogène. Exemple avec le projet H2Bordeaux.

D

epuis 2020, le port de Bordeaux, Storengy et Nexeya travaillent à l'évaluation du potentiel de développement de l'hydrogène dans la zone portuaire bordelaise. L'objectif

est de décarboner l'industrie et la mobilité au regard des acteurs déjà présents sur le port et de la multimodalité de ce territoire. Plusieurs études sont en cours pour mieux cerner les potentiels et, le 30 mars 2022, l'ensemble des acteurs se sont réunis pour affiner les axes de travail. Quatre pistes d'usage de l'hydrogène sur le port semblent réalisables dans un avenir proche :

- Conversion de l'alimentation des BAT3 (BATCub) à l'hydrogène : cette navette fluviale, proposée par le réseau TBM (Transports Bordeaux Métropole), transporte les usagers d'une rive à l'autre le long de la Garonne. D'après les études, une navette pourrait consommer jusqu'à 15 tonnes d'hydrogène par an et, au total, entre 5 et 6 navettes pourraient être converties.
- Conversion des bus du réseau TBM à l'hydrogène : l'étude a permis d'identifier des usages pour le transport terrestre afin de verdir une flotte de bus. Pour répondre à cette demande, deux stations de 400 kg/j seraient nécessaires sur la rive droite et la rive gauche de la Garonne, à Bassens et à proximité de Bacalan.
- Conversion d'un locotracteur : les partenaires ont également étudié l'opportunité de modifier un train de marchandises à l'hydrogène, évitant ainsi l'utilisation d'énergies fossiles pour se déplacer entre les deux terminaux d'Ambès et de Bassens. Cette faisabilité technico-économique a montré la possibilité de modifier ce train de marchandises avec un couplage pile à hydrogène et batteries.



© D.Trentacosta - GPWB

● Conception d'une barge énergie : l'étude a permis de concevoir une barge pouvant délivrer 1,5 MW pendant vingt-quatre heures, pour alimenter des bateaux à quai ou encore offrir un service d'écrêtage de consommation électrique sur les bords de la Garonne.

Reste désormais à affiner ces scénarios prometteurs. ①

## PROJET H2BORDEAUX

## PORTEURS DU PROJET

● Port de Bordeaux, Storengy, Nexeya

## LIEU D'IMPLANTATION

● Port de Bordeaux

## DATE DE MISE EN SERVICE

● inconnue

## TECHNOLOGIE MOBILISÉE

● Pile à combustible

## SOURCE D'ÉNERGIE

● Utilisation d'hydrogène industriel fatal

● Production d'hydrogène décarboné

## USAGES

● Transport fluvial et ferroviaire

● Transport en commun

# SI L'HYDROGÈNE DEVIENT L'ÉNERGIE DU FUTUR IL NE DOIT PAS ÊTRE LE RISQUE DU FUTUR !

L'hydrogène, déjà utilisé pour des usages industriels dans la chimie et le raffinage, se développe à grands pas en tant que vecteur d'énergie dans le domaine des transports et de la mobilité urbaine, dans la filière gaz, et dans la production d'électricité et de chaleur.

Véritable enjeu dans la transition énergétique, sa production, son stockage, son transport, son utilisation doivent être sécurisés.



**NOTRE APPROCHE GLOBALE EN PRÉVENTION  
ET MAÎTRISE DES RISQUES NOUS PERMET D'ACCOMPAGNER  
L'ENSEMBLE DES ACTEURS CONCERNÉS  
SUR TOUTES LES PHASES D'UN PROJET HYDROGÈNE !**



**Découvrez nos prestations de conseils,  
de formations, d'assistance technique :**

- **diagnostic** de conformité réglementaire,
- **dossiers d'Autorisations d'Exploiter**,
- **étude** de danger,
- **analyse** du risque incendie et de vulnérabilité,
- **modélisation** (flux thermiques pour définition des zones d'effets, efficacité du désenfumage),
- **assistance technique** sur la conception des installations de sécurité incendie,
- **étude du comportement** au feu des structures,
- **formations à la prévention** des risques d'explosions (ATEX) : sensibilisation ATEX, formation des équipes de maintenance...
- **formations à l'intervention face au feu** d'hydrogène : nous disposons d'une installation spécifique où nous utilisons de l'hydrogène à 200 bars pour permettre à nos stagiaires d'être au plus près de la réalité.



# Les territoires s'emparent de l'hydrogène vert

Deux questions à :

Charles-Antoine Gautier – Directeur adjoint de la FNCCR



## En quoi la FNCCR s'investit-elle dans le développement de la filière hydrogène en France ?

L'hydrogène est une solution d'avenir pour le développement des énergies renouvelables et la décarbonation. La FNCCR promeut l'hydrogène vert appuyé sur des productions renouvelables locales.

Ce sujet est au cœur de nos travaux notamment dans le cadre des commissions d'élus réunies au sein de notre fédération. Nous accompagnons nos adhérents en produisant des référentiels juridiques, techniques et financiers avec nos partenaires dont France Hydrogène.

La mobilité constitue un axe majeur en la matière : la FNCCR a contribué à développer un service public de la recharge codifié à l'article L.2224-37 du CGCT et a milité pour l'étendre au GNV et à l'hydrogène. Nous avons ainsi favorisé le déploiement de stations multi-énergies par les collectivités.

## Quelle est la place des territoires dans l'avènement de cette filière ?

Pour la FNCCR, la transition énergétique est indissociable d'une vraie implication des territoires. Nos adhérents s'inscrivent pleinement dans le développement de la mobilité décarbonée combinée à des productions énergétiques décentralisées.

Nous assistons à un foisonnement d'innovations locales impulsées par les élus locaux, qui préfigurent un déploiement plus massif. De surcroît, l'hydrogène sera, avec une baisse des coûts, une réponse efficace au stockage de productions énergétiques intermittentes ; il favorisera notre indépendance énergétique et l'équilibre du mix énergétique. ■

### CONTACT

Mail : [fnccr.asso.fr](mailto:fnccr.asso.fr)

Site : [fnccr@fnccr.asso.fr](http://fnccr@fnccr.asso.fr)

Retrouvez aussi la FNCCR sur Twitter / LinkedIn

## Une équipe spécialisée dédiée aux projets de production et de commercialisation d'hydrogène



Cabinet d'avocats indépendant spécialisé, nous accompagnons déjà plusieurs projets d'unités de production massive d'hydrogène, et des stations de distribution d'hydrogène en France. Nous intervenons sur l'ensemble des étapes des projets :

- Etude de faisabilité : foncier, urbanisme, réseaux, ICPE, énergie
- Négociation et rédaction des titres fonciers et des contrats commerciaux
- Accompagnement en développement : audits préalables de dossiers administratifs (autorisation environnementale, permis de construire, loi sur l'eau, approbation d'ouvrage électrique ...), conseil dans le cadre des procédures (concertation, instruction, enquête publique, interfaces avec les réseaux publics)
- Contentieux des autorisations
- Commercialisation de l'énergie : stockage, vente, raccordement aux réseaux, distribution, droit à l'injection
- Veille réglementaire et lobbying

[stephanie.gandet@green-law-avocat.fr](mailto:stephanie.gandet@green-law-avocat.fr)

[www.green-law-avocat.fr](http://www.green-law-avocat.fr)  
Structure inter-Barreaux

## 3 QUESTIONS À...

# De l'eau ultra pure pour tous les types d'électrolyseurs



— Décarboner l'industrie en faisant émerger une filière française de l'électrolyse est l'une des priorités de la stratégie nationale. Qui dit électrolyse dit injection dans le process d'une eau ultra pure. Une expertise que Veolia Water STI met au service de cette filière émergente.

Avec **Jean-Claude Céliani**, responsable des Services Eaux de process, Veolia Water STI

### **Q** Qu'apporte Veolia Water STI à la chaîne de valeur de l'hydrogène ?

**J.-C. C.** : L'une des conditions pour que les projets d'usines d'hydrogène voient le jour est que l'eau pure nécessaire à l'électrolyse soit produite à des coûts raisonnables. Chez Veolia Water STI, nous concevons, réalisons et maintenons des installations d'eau ultra pure totalement modulables, à partir de matériels standards fiables et maîtrisés, que nous assemblons en série ou en parallèle. En fonction de la qualité et de la quantité d'eau demandées ou de la configuration du site, nous définissons le module de filtration adapté pour chaque étape, en étudiant toutes les technologies disponibles. Nous pouvons ainsi concevoir l'installation qui correspond le mieux aux besoins de production de notre client, tout en requérant le moins d'investissement et en modérant les coûts d'exploitation.

### **Q** Au-delà de la conception et de l'installation, comment accompagnez-vous les industriels ?

**J.-C. C.** : Le marché de l'hydrogène-énergie est très particulier car les industriels doivent être en mesure

de fixer aujourd'hui le prix du produit qu'ils vendront à terme, lorsque l'usine sera construite. Nous avons développé une offre « pay per use », qui donne une grande visibilité sur le coût de cette utilité, puisqu'elle intègre sous forme de « loyer » l'installation, l'exploitation, les consommables et la maintenance. Veolia Water STI a également développé une solution de supervision à distance, Hubgrade, qui permet de gérer chacun des appareils standards du système et de connaître en temps réel le volume et la qualité d'eau ultra pure produits par l'installation.

### **Q** Les solutions de Veolia Water STI s'adressent-elles uniquement aux grandes unités de production ?

**J.-C. C.** : Nous disposons de très petits modules de déminéralisation d'eau interchangeables qui s'installent facilement dans une unité de production décentralisée d'hydrogène. L'eau pure est fabriquée sans consommation locale d'énergie ni perte d'eau et avec une empreinte au sol très réduite. Notre maillage territorial nous permet d'assurer la rotation de ces modules et de les régénérer dans nos agences afin d'éviter toute production de déchets.



[www.veoliawatertechnologies.fr](http://www.veoliawatertechnologies.fr)





## ANALYSE

# LE FRET ROUTIER SUR LA BONNE VOIE

— Constructeurs, transporteurs, chargeurs et producteurs s'associent pour s'approprier, perfectionner puis massifier les solutions hydrogène. Un vecteur énergétique particulièrement adapté aux mobilités lourdes.

**B**onnes capacités d'autonomie et temps de recharge très courts : ces atouts de l'hydrogène vert pourraient permettre au fret routier de s'engager sans trop de difficultés dans la voie de la décarbonation. C'est en tout cas le pari de grands groupes, comme le gazier Air Liquide ou le constructeur VDL, mais également de nouveaux venus, comme le producteur d'hydrogène Lhyfe ou la start-up Nikola, lancés dès 2020 dans la mise au point de camions et d'infrastructures adaptés à ce vecteur énergétique. Responsables de près de 3 %

des émissions françaises de gaz à effet de serre, soit quelque 40 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> par an, les transporteurs n'ont peut-être pas d'autre choix. Dans son paquet « Fit-for-55 », la Commission européenne fixe en effet au secteur des objectifs de réduction de 15 % de ses émissions en 2025 et de 30 % en 2030, par rapport à 2019, avant d'atteindre la neutralité en 2050. Or, en termes de facilités d'usage, la solution hydrogène est celle qui se rapproche le plus du diesel. Bien plus que la mobilité électrique, par exemple, plus pertinente pour des trajets courts, avec des possibilités de temps de recharge plus longs ou des charges utiles plus limitées. En 2030, l'Union européenne vise la mise en circulation de 60 000 camions équipés d'une pile à combustible, alimentés par 1 500 stations.

## Carburer à l'hydrogène sans changer de moteur ?

— La technologie n'est pas encore disponible sur le marché, mais l'hydrogène peut également s'utiliser comme carburant, sous forme gazeuse, dans un moteur thermique. Non émettrice de CO<sub>2</sub>, cette alternative est étudiée par des constructeurs comme Iveco ou Volvo Trucks-Renault Trucks. Lorsqu'elle sera maîtrisée, les équipements seront alors très rapidement disponibles en série, puisque similaires aux modèles thermiques, et à des prix attractifs. Les moteurs à combustion pourraient se révéler plus stables, plus tolérants aux contaminants et plus durables que les piles à combustible. En revanche, au-delà du rejet de vapeur d'eau, ils émettent des particules PM10 et de l'oxyde d'azote. Leur efficacité énergétique est bien moins bonne que la solution électrique à hydrogène.

## Camions et stations déjà en phase de test

Hyzon, VDL, Gaussin, Daimler, Hyundai, Toyota ou Man : la majorité des grands constructeurs se sont investis dans la mise au point de ces nouveaux poids lourds pour répondre à cette demande. Man devrait tester ses premiers prototypes en 2024, mais d'autres sont déjà sur les routes, comme le camion Gaussin, engagé sur le Paris-Dakar 2022, le « Xcient Fuel Cell » de Hyundai livré en Suisse ou la trentaine de camions Hyzon partis pour la Chine. Après ces premières préséries, des gammes complètes

devraient être proposées dès 2025 et leurs performances améliorées, avant un passage à la fabrication en série entre 2026 et 2028. La jeune société Nikola Motor a pris un peu d'avance puisqu'elle compte louer, dès l'année prochaine, à la société de transport PG, cent de ses camions « Tre », sensés être autonomes sur 800 km.

En parallèle, maillons clés pour le développement du marché de l'hydrogène, plusieurs dizaines de stations de distribution d'hydrogène, publiques ou privées, sont déjà en service en France. De nouvelles sont en construction ou en projet. La Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) en prévoit 100, publiques, d'ici à 2023, et entre 400 et 1 000 à l'horizon 2028, réservées ou non aux poids lourds.

### Des alliances multifacettes

Sur ce secteur en devenir, difficile cependant de s'engager seul. Très vite, de multiples partenariats et autres consortiums se sont donc naturellement noués : comme Hyundai avec Shell ou Iveco avec Air Liquide pour leur approvisionnement en hydrogène; l'équipementier Forvia (ex-Faurecia avec Man pour la conception des réservoirs; ou encore Plastic Omnium avec McPhy pour l'amélioration des processus de remplissage aux stations. Afin de disposer de toutes les briques nécessaires, Daimler Truck ▶

## OBJECTIF DE L'EUROPE

**60 000**

camions équipés d'une pile  
à combustible mis en circulation

**1500**

stations d'avitaillement



**AIR FLOW**

HYDROGEN SERVICES

*sécurise  
la chaîne logistique  
hydrogène*

La chaîne logistique hydrogène relève de nombreux défis au quotidien : augmentation de la demande, aléas de transport, retard ou panne des unités de production, maintenance, transfert de production... Grâce à sa flotte de stockage hydrogène, Air Flow Hydrogen Services apporte de la robustesse à cette chaîne.

Depuis 20 ans, les producteurs d'hydrogène font appel à Air Flow pour compléter leur propre flotte avec des ISO tubes et cadres de bouteilles, parfois en urgence pour sécuriser de la chaîne logistique.

"Air Flow dispose en permanence d'équipements prêts au départ", explique Pierre Fiat, Directeur Air Flow. "Les producteurs d'hydrogène peuvent compter sur nous en cas d'aléas, même en urgence".

Alliant réactivité et efficacité, Air Flow Hydrogen Services accompagne ses partenaires dans leurs projets de ravitaillement dans les 5 continents via le hub du port d'Anvers, et nos bureaux situés à Singapour, Houston et Algerias.

Air Flow Hydrogen Services, acteur incontournable pour l'énergie de demain.

Pour tout renseignement, [contact@airflow.fr](mailto:contact@airflow.fr)

## INDUSTRIE

OBJECTIF  
DE LA  
FRANCE

**100**  
stations  
d'avitaillement  
publiques,  
d'ici à 2023

Entre  
**400**  
et **1 000**  
stations  
à l'horizon 2028

Première démonstration  
publique du camion de  
44 tonnes à propulsion  
électrique-hydrogène  
conçu et développé par  
GreenGT, port de Toulon  
(Var), le 24 mars.

▷ s'est, pour sa part, assuré la coopération d'une palette très large d'acteurs : Air Liquide, le producteur de gaz Linde pour ses solutions d'avitaillement, Shell pour le déploiement des stations, Volvo pour la fabrication des piles à combustible et même Bosch pour les équipements liés à ces piles.

Ces associations sont parfois très intégrées. Depuis 2019, Hyundai et le fournisseur d'hydrogène H2 Energy déroulent ainsi une offre complète, Hydrogen Mobility Solution, composée de 1 600 poids lourds électriques à piles à combustible, livrables d'ici à 2025, de stations et de production d'hydrogène. Créé fin 2020 afin de développer et de massifier le marché, H2Accelerate rassemble une dizaine de producteurs d'hydrogène, d'exploitants d'infrastructures et de constructeurs de véhicules : Shell, Linde, TotalEnergies, Iveco, Daimler Truck, OMV et Volvo Group.

Des stratégies au plus près  
des besoins

En tant qu'utilisateurs des véhicules, les transporteurs-logisticiens et les chargeurs ont aussi un rôle clé à jouer dans l'adaptation de la technologie hydrogène à leurs propres besoins. Lancé dès 2017 et présenté le 24 mars dernier, le camion démonstrateur Cathyope est ainsi le fruit d'une alliance entre le développeur de systèmes propulseurs GreenGT, les Transports Chabas et Carrefour. Les transporteurs doivent aussi pouvoir s'appuyer sur un écosystème de stations d'avitaillement et d'ateliers de maintenance, bien aligné avec leurs caractéristiques opérationnelles. Une autre approche consiste donc à faire travailler ensemble tous les acteurs de la chaîne de valeur autour de bassins régionaux, avec l'aide des

acteurs publics et d'opérateurs comme la Banque des territoires. Objectif : identifier les flux pertinents, les spécificités des tournées, les besoins en maintenance des véhicules et le dimensionnement nécessaire des infrastructures de distribution, tester les solutions mises en place, puis séduire les futurs clients...

Porté par le pôle de compétitivité Capenergies et Air Liquide, dans la zone dense d'Aix-Marseille et les ports, le projet Hyammed, par exemple, associe le constructeur Iveco, des transporteurs (Jacky Perrenot, ID Logistic ou Blondel et Malherbe), des chargeurs (Carrefour, Coca-Cola ou Monoprix), le producteur d'hydrogène par électrolyse Kem One, à Fos-sur-Mer, et Air Liquide pour son transport et sa distribution. Le programme, qui atteint près de 15 M€, est financé par l'Europe, la France et la Région Paca. Cette dernière subventionne notamment une huitaine de camions et la station à hydrogène haute pression (700 bars). Celle-ci délivrera une tonne d'hydrogène par jour à raison d'une vingtaine de recharges. Elle est également conçue pour le ravitaillement de bus et autres véhicules utilitaires à l'horizon 2023.

## Des projets à l'échelle européenne

D'autres initiatives se conçoivent au contraire à l'échelle européenne. Soutenu par la Région Occitanie et consacré au transport de marchandises comme de passagers (camions, groupes frigorifiques, autocars), le projet Corridor H2, par exemple, se déploiera de la Méditerranée à la mer du Nord, sur le réseau transeuropéen RTE-T. La démarche consiste à équiper d'abord les corridors régionaux en stations à hydrogène, par étapes, via un approvisionnement sécurisé à l'échelle locale, avant de généraliser cette démarche. Premier concerné, le corridor occitan devrait accueillir, d'ici à fin 2023, deux unités de production (de 5 à 20 MW) et huit stations de distribution d'une capacité de 600 à 1 200 kilos par jour. Ces équipements seront situés à moins de dix kilomètres des axes principaux ou secondaires du réseau, le long de l'autoroute A9, de l'A61 et de l'A68. La flotte sera constituée de 40 camions à propulsion, 22 unités réfrigérées, 40 remorques frigorifiques et 15 autocars en rétrofit. Prêtés par la Banque européenne d'investissement (BEI), la Région Occitanie consacre 40 M€ à cet investissement, sur un budget total estimé à près de 110 M€. La Commission européenne y participe à hauteur de 14,50 M€. Après toutes ces phases d'expérimentation, la filière devrait s'engager dès 2025 dans des projets à plus grande échelle, de commercialisation et de massification des commandes, pour devenir pleinement opérationnelle en 2030. ①



© GreenGT-Nicolas-Delplierre

# POUR RÉUSSIR LA TRANSITION ABONNEZ-VOUS !



11  
mensuels  
par an  
+ hors-séries

L'Actu  
quotidienne  
sur le Web

[www.actu-environnement.com](http://www.actu-environnement.com)



## VOS OUTILS DE VEILLE

- ▶ Alerting par mots-clés
- ▶ Classeur des favoris
- ▶ Annotations

## VOS OUTILS DE PARTAGE

- ▶ Réaction aux articles
- ▶ Blog personnalisé (Pro)

**PLUS** Les archives depuis 2003



PLUS RAPIDE !  
ABONNEZ-VOUS  
EN LIGNE

### PERSONNEL

1 an : 150 € TTC/an  
Durée libre : 12,50 € TTC/mois

### PROFESSIONNEL

1 à 5 lecteur.s : 590 € TTC/an  
1 à 10 lecteur.s : 990 € TTC/an  
**Inclus :** votre blog BtoB personnalisé



<https://aenv.fr/abo>

## INDUSTRIE

## FICHE PROJET

# LE RÉTROFIT d'un car Diesel s'expérimente en Normandie

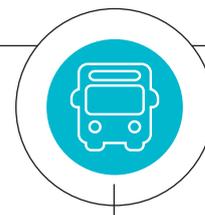
— D'ici quelques mois, un car rétrofité à l'hydrogène devrait accueillir ses premiers voyageurs sur la ligne régionale Rouen-Évreux. Un projet unique qui fera l'objet d'un bilan environnemental et économique complet.

E

**n parallèle au développement de nouveaux modèles de bus ou de cars à hydrogène, plusieurs acteurs misent sur le rétrofit de modèles**

**existants pour aller plus vite.** La transformation consiste à retirer le bloc Diesel, la boîte de vitesses et les réservoirs, pour installer à la place un ensemble hydrogène composé d'un moteur électrique, d'une pile à combustible et de réservoirs. Plusieurs acteurs se positionnent sur ce marché dans l'objectif de proposer des véhicules à hydrogène moins chers que des neufs. En Normandie, l'opérateur de transport public Transdev travaille depuis deux ans au rétrofit d'un autocar assurant une ligne interurbaine régionale. Une première mondiale !

Cet autocar nouvelle génération, basé sur un Iveco Crossway Euro 5, pourrait accueillir ses premiers voyageurs en juillet prochain sur la ligne Rouen-Évreux. Il est en cours de transformation depuis octobre 2021 dans les ateliers de l'entreprise IBF située près d'Amiens (Somme) et spécialisée dans la transformation et l'entretien d'autocars. Selon les premiers tests réalisés, l'autonomie de l'autocar rétrofité sera d'environ 450 km, soit plus de 30 % par rapport à un car électrique classique. L'Insa Rouen Normandie a également finalisé, en septembre 2021, une analyse du cycle de vie du véhicule, en fonction de différents scénarios de production d'hydrogène ou de rétrofit. Cette étude confirme l'importance d'envisager le recours à une production d'hydrogène la plus décarbonée et la plus locale possible pour avitailler le car rétrofité. ①



Motorisation



© Transdev

## PROJET NOMAD CAR HYDROGÈNE

### PORTEURS DU PROJET

- Transdev et Région Normandie

### LIEU D'IMPLANTATION

- Ligne de car Rouen-Évreux

### DATE DE MISE EN SERVICE

- 2022

### TECHNOLOGIE MOBILISÉE

- Rétrofit d'un car Diesel par pile à combustible et moteur électrique

### SOURCE D'ÉNERGIE

- Hydrogène produit à la station EAS HyMob du Vieil-Évreux à partir d'électricité du réseau

- Migration vers les énergies renouvelables à l'étude



Production massive  
d'**hydrogène renouvelable**

**Depuis 2016, H2V relève le défi de produire de l'hydrogène renouvelable** pour remplacer l'hydrogène gris, décarboner l'industrie et la mobilité lourde, principaux émetteurs de CO2.

**H2V** fait le choix de produire massivement pour optimiser les coûts de production et de développer un réseau de stations-service permettant d'avitailer l'ensemble du territoire.

**H2V** investit et développe aujourd'hui pour répondre aux besoins énergétiques de demain.

**En 2021, à Port Jérôme en Normandie, le premier projet développé par H2V obtient l'autorisation préfectorale d'exploiter !**

Après 3 avis favorables rendus par le Commissaire enquêteur et un vote unanime en CODERST, le site de production massive d'hydrogène renouvelable (200 MW) entre en phase de construction en 2022.

**H2V** est une filiale du groupe industriel français **Samfi**, engagé depuis deux décennies en faveur de la transition énergétique : parcs éoliens **Samwind**, parcs solaires **Samsolar**, production d'hydrogène renouvelable avec **H2V**, stations-service avec **Distry** et les transports **Malherbe** dont une partie de la flotte roulera à l'hydrogène dès 2023.

[www.h2v.net](http://www.h2v.net)

INDUSTRIE

# L'ÉCO



Port de Dunkerque, sur lequel producteurs et futurs consommateurs d'hydrogène travaillent de concert.

▶ GRAND ANGLE

# IMPLANTATIONS TERRITORIALES, SYSTÈME D

— Par leurs investissements, leurs mises en relation, leur accompagnement des acteurs locaux, les Régions et territoires ont un rôle crucial à jouer dans le développement d'écosystèmes hydrogène. Zoom sur les stratégies de quatre d'entre eux.

**A**mbitieux ou plus modestes, portés par les industries ou développés autour de la mobilité, à proximité des ports ou des frontières : le territoire français compte plusieurs centaines de projets locaux liés à l'hydrogène. Tour d'horizon des stratégies développées dans quatre grandes régions.

## En Corse : l'université aux manettes

Avec son site démonstrateur, inauguré il y a plus de dix ans près d'Ajaccio, la Corse fait figure de pionnière en la matière. À l'origine de cette première expérience : la nécessité de trouver des solutions pour alimenter le réseau électrique durant les pics de consommation, mais aussi la conviction de Christian Cristofari, vice-président transition énergétique et développement durable de l'université de Corse, de la pertinence de ce vecteur énergétique pour répondre à ce besoin typiquement insulaire. Avec la participation d'Alstom et sous l'égide de l'université, la plateforme Myrte voit donc le jour, en 2011, équipée de panneaux solaires (560 kW), d'un électrolyseur (55 kW) et d'une pile à combustible (100 kW). Forte de ce premier retour d'expérience, elle se complète

de Paglia Orba, en 2016 : un site capable de produire chaleur et froid en cogénération.

En novembre prochain, une troisième plateforme s'ouvrira, dotée d'une autre pile à combustible, air-hydrogène, d'un « cycle à adsorption » pour générer du rafraîchissement, et d'une station d'avitaillement, pour 5 à 6 véhicules par jour. « Désormais, l'hydrogène figure aussi dans notre programmation pluriannuelle de l'énergie révisée pour 2023-2024, coconstruite par la Région et l'État, précise Christian Cristofari. Un gisement de 10 tonnes par heure y a été identifié, via le déploiement de près de 150 MW d'énergies renouvelables. »

Reste à passer la vitesse supérieure en décarbonant notamment les transports lourds : trains, bateaux, bus... Déjà financés, plusieurs projets sur la mobilité et l'alimentation des ferries à quai sont en cours de réalisation. De nouvelles centrales photovoltaïques, des électrolyseurs et des piles à combustible devraient également être opérationnels d'ici trois à quatre ans. La massification des usages n'est pas pour autant assurée. « La sensibilisation des acteurs politiques locaux prend du temps. Jusqu'à présent, les technologies n'étaient pas complètement matures et ces projets sont budgétivores, explique Christian Cristofari. Mais, c'est le sens de l'histoire ! » ▶

## INDUSTRIE



© Christian Creutz SNCF

Train à hydrogène expérimenté dans plusieurs régions de France.

« Il faut se baser sur les besoins. Les consommateurs donneront le ton. »

FRANCK LEROY  
Grand Est

### ▷ Dunkerquois : créativité bien ordonnée

Dans la communauté urbaine de Dunkerque (CUD), très industrialisée, la stratégie hydrogène s'est au contraire largement construite, dès 2019, autour de grandes entreprises comme ArcelorMittal, Comilog ou Ferro-globe, soucieuses de décarboner leurs productions. « Dunkerque représentait un cinquième des émissions industrielles de France. Pour elles, c'était donc une question de survie. Chacune avait d'ailleurs ses solutions à proposer », commente Rafael Ponce, directeur général adjoint de la CUD, chargé de l'économie et de l'emploi. Mais pour la collectivité comme pour le port, propriétaire des terrains de la zone industrielle, pas question de favoriser l'implantation d'un gros projet qui ne servirait pas, dans le même temps, les intérêts de tous, des entreprises plus petites, des transporteurs ou des acteurs de la logistique portuaire. Afin de faire émerger un « hub » hydrogène, la CUD s'est donc d'abord consacrée, en 2019, à la constitution d'un collectif. Chapeauté par un comité de pilotage, celui-ci réunit, au sein de groupes de travail thématiques, les industriels, la communauté urbaine, la Région, le port maritime de Dunkerque et la chambre de commerce et d'industrie.

La collectivité s'est ensuite attachée à structurer leurs démarches individuelles pour les transformer en projet commun, inscrit dans les logiques régionales et nationales : la construction de plusieurs pipelines interconnectables entre eux et vers des stations d'avitaillement, par exemple. Une force pour développer l'économie et l'attractivité du territoire, comme le prouve la prochaine implantation de gigafactories de batteries de Verkor, tout en attirant les financements étatiques et européens. « Ce partenariat public-privé s'est construit dans le temps. Il a nécessité un gros travail de prospection auprès des acteurs du territoire et de partage de nos ambitions. Mais aujourd'hui, il donne de la cohé-

rence au territoire », observe Rafael Ponce. Dès 2024, l'usine H2V59, située sur le port de Dunkerque, devrait par ailleurs produire 28 000 tonnes d'hydrogène par an, valorisées en injection dans le réseau de GRTgaz et, grâce à ses quelque 400 MW d'électrolyseurs, Air Liquide alimentera, dès 2027, une gigantesque ligne de production d'acier d'ArcelorMittal. Dunkerque devrait par ailleurs être intégrée à la dorsale européenne de transport d'hydrogène Backbone.

### Région Occitanie : l'armature des territoires

Engagée dans une démarche « Région à énergie positive », l'Occitanie avait pour sa part identifié, dès 2016, le potentiel de l'hydrogène pour accélérer sa transition écologique : dans le domaine de la mobilité en particulier. Avec des acteurs précurseurs, comme Alstom, installé près de Tarbes, ou Tryfil qui produit dans le Tarn de l'hydrogène à partir de déchets, elle fait d'emblée le choix tactique de miser sur le développement d'écosystèmes territoriaux. Autant de spots susceptibles de doper la production d'hydrogène renouvelable, sa distribution et ses usages, tout en faisant gagner en compétence les acteurs locaux sur ces trois volets. En 2019, dans le cadre de son plan hydrogène vert, l'exécutif lance donc un appel à projets, doté d'un financement de 150 M€ sur dix ans, destiné à stimuler la création de consortiums.

« C'est un peu notre marque de fabrique, constate Agnès Langevine, vice-présidente de la Région chargée du climat, du pacte vert et de l'habitat durable. Nous avons ainsi pu identifier les acteurs et consolider les filières. » Parmi les lauréats, se trouve le projet d'unité de fabrication d'hydrogène vert Hyd'Occ (20 MW), à Port-la-Nouvelle, qui fournira notamment le premier maillon de stations du corridor national H2 pour les camions, ou encore Val d'Hygo (5 MW), porté par Lhyfe, à Bessières. Autres pro-

## L'HYDROGÈNE DES TERRITOIRES EN CHIFFRES

# 7

### grands bassins

de consommation et de production massive d'hydrogène autour des grands sites industriels, des ports et des frontières : Nancy-Mulhouse, Lyon-Grenoble, Fos-Marseille-Toulon, de Bordeaux à Port-la-Nouvelle, Saint-Nazaire, du Havre à Paris, de Dunkerque.

# 12

régions dotées de feuilles de route pour l'hydrogène et ayant investi des enveloppes de plusieurs dizaines de millions d'euros pour coordonner et structurer des écosystèmes locaux.

# 240

projets hydrogène, au moins, en cours de déploiement ou déjà en service.

grammes soutenus par la Région : l'usine d'électrolyseurs Genvia, à Béziers, ou encore Hyport, développé par Engie et l'Agence régionale énergie climat (Arec) : une unité de production à proximité de l'aéroport Tarbes-Lourdes-Pyrénées, dévolue, entre autres, à l'alimentation de sept bus pour le transport de passagers de l'aérogare vers les avions. À cela, il faut ajouter le levier de la commande publique. Pour ses lignes non électrifiées réouvertes, la Région a commandé trois rames à Alstom, ainsi que des barges pour le dragage du port de Sète. « De quoi fournir des débouchés aux producteurs d'hydrogène et faire baisser les prix », analyse Agnès Langevine.

### Grand Est : un effort de pédagogie

Aborder la question de l'hydrogène à partir des territoires : telle a également été la démarche de la Région Grand Est. « Il faut se baser sur les besoins.

Les consommateurs donneront le ton. Mais ils doivent pouvoir trouver des ressources à proximité. Il faut donc construire des systèmes. Nous sommes en phase émergente », commente Franck Leroy, vice-président délégué à l'environnement, la transition écologique et au Sradet. Dans ce but, la collectivité a, elle aussi, lancé son appel à projets à l'intention des territoires, en décembre dernier, soutenue par l'Agence de la transition écologique (Ademe) pour le volet « études ». Objectif : élaborer des programmes de production décentralisée, après identification des industries, des structures chargées des transports et des acteurs locaux susceptibles de basculer vers l'hydrogène. Une dizaine de projets sont déjà engagés. D'autres territoires restent à convaincre.

« Nous essayons de les acculturer à la complexité du sujet, de les amener à se questionner, à se parler, puis à partager un même savoir », explique Franck Leroy. D'où la création de Dinamhyse en 2019. Une structure réunissant 80 acteurs du marché parmi les plus avertis, comme Engie, EDF, PSA, Haffner ou l'université de Lorraine, censée accélérer le développement d'une véritable filière industrielle sur toute la chaîne de valeur. Afin de faire bouger encore les lignes, le Grand Est, comme l'Occitanie, participe également à l'acquisition ou au rétrofitage de véhicules lourds. Enfin, placée au cœur de nombreux échanges transfrontaliers, la collectivité travaille étroitement avec ses voisins allemands, suisses, belges et luxembourgeois sur diverses questions : transformation des flottes captives et du train, maillage des territoires par les stations d'avitaillement, accompagnement des industries, formation... D'ores et déjà, GRTgaz prévoit la conversion de canalisations de gaz entre la Sarre, la Moselle, l'Alsace et le Luxembourg pour le transport d'hydrogène. ①

« Désormais, l'hydrogène figure aussi dans notre programmation pluriannuelle de l'énergie révisée pour 2023-2024, coconstruite par la Région et l'État. »

CHRISTIAN  
CRISTOFARI  
Corse

Nadia Gorbatko



Station de distribution d'hydrogène pour vélo en Occitanie.

## INDUSTRIE

## FOCUS

# PAYS DE LA LOIRE: L'HYDROGÈNE VERT À LA POMPE



— C'est une station-service de nouvelle génération qui a été inaugurée à la Roche-sur-Yon, car elle livrera de l'électricité verte, du bioGNV et de l'hydrogène vert à un écosystème de consommateurs très investis. Un modèle appelé à se dupliquer.

**J** eudi 9 décembre 2021, une station-service multiénergie a été inaugurée à La-Roche-sur-Yon, en Vendée, en présence du ministre de l'Économie, Bruno Lemaire, et du ministre délégué chargé

des Transports, Jean-Baptiste Djebbari. Localisée sur un ancien site de production Michelin en reconversion, elle présente la particularité de distribuer à la fois de l'hydrogène vert, du bioGNV et de l'électricité verte. Une première en France, développée sous la houlette du Syndicat d'énergie et d'équipement de la Vendée (Sydev) et de sa société d'économie mixte créée en 2012, Vendée Énergie. L'électricité verte provient de centrales photovoltaïques au sol (sur d'anciens centres d'enfouissement de déchets), en toitures et sur ombrières de parking appartenant à la SEM. Le bioGNV sort des méthaniseurs installés dans les exploitations agricoles du département. Quant à l'hydrogène, il est bien vert, car

produit à 60 km de là par l'électrolyseur de la société Lhyfe, raccordé à un parc éolien (propriété de la SEM) depuis septembre dernier. « C'est le symbole des stations-service du XXI<sup>e</sup> siècle et d'une stratégie vendéenne ambitieuse en faveur de l'émergence de filières d'énergies locales décarbonées. Consommer des énergies renouvelables, c'est capital; en circuit court, c'est indispensable ! » estime Alain Lebœuf, président de Vendée Énergie et président du conseil départemental.

## La flotte de véhicules s'étoffe

Conçue et fabriquée par la société HRS, la station est capable d'assurer le ravitaillement à hauteur de 200 kg/jour. Livré sur place, par un camion qui roulera aussi bientôt à l'hydrogène, l'hydrogène vert est distribué à des débits adaptés à différents véhicules : véhicules

**Station-service multiénergie**  
inaugurée en décembre 2021  
à la Roche-sur-Yon (Vendée).

lourds (700 bars), pour le transport de marchandises, de personnes ou encore des bennes à ordures ménagères, mais aussi les véhicules légers (350 bars) à usage intensif. Mais qui seront les utilisateurs ? Ils sont nombreux, ce qui garantit le succès de l'opération.

La Roche-sur-Yon Agglomération a mis en circulation un bus à hydrogène pour son service de transports en commun, Impulsion, exploité par RATP Dev. Le Département de la Vendée s'est doté d'une Toyota Mira à hydrogène pour les déplacements de son président et s'équipe également d'un camion à hydrogène. La concession Toyota de La Roche-sur-Yon devait livrer dix voitures Mirai à des particuliers. « La question que l'on nous pose régulièrement est celle de l'œuf ou de la poule, image Matthieu Guesné, président-fondateur de Lhyfe. L'exemple de la mise en place de la filière hydrogène dans la région des Pays de la Loire montre que la solution, c'est de bâtir un premier écosystème pour mettre en adéquation l'offre et la demande et de déployer l'ensemble des éléments dans le même temps : véhicules, sites de production, sites de distribution. »

Au total, une cinquantaine de véhicules lourds, bus, bennes à ordures ménagères, pourront rouler à l'hydrogène renouvelable dans les départements de la Loire-Atlantique, de la Sarthe, de la Vendée d'abord, puis dans d'autres départements, notamment via le projet VHyGO, qui prévoit le développement d'écosystèmes territoriaux à plus grande échelle en Pays de la Loire, Bretagne et Normandie. « Cette inauguration symbolise l'importance de ce format hub, qui permet d'accompagner les évolutions de la consommation. En particulier, cette offre multiénergie répond aux besoins de plus en plus diversifiés du transport automobile. En effet, les transporteurs verdissent leur flotte, à travers notamment le GNV, tandis que les automobilistes particuliers se tournent de plus en plus vers les véhicules électriques. Il est à parier que cette station multiénergie est le premier exemple d'un mouvement qui tendra à se renforcer », analyse Clément Le Roy, expert au cabinet Wavestone.

## Territoire et start-up : le duo gagnant

Pour que ce projet voie le jour, un investissement de 3,2 millions d'euros a été nécessaire (dont 1,5 million d'aides provenant de l'État, de la Région des Pays de la Loire ainsi que de l'Ademe). Et le Sydev ne devrait pas en rester là. « Si la station de La Roche-sur-Yon est la concrétisation d'un nouveau paradigme énergétique de la mobilité en Vendée, elle ne marque néanmoins que le début d'un projet autrement plus ambitieux sur tout le département, car nous sommes persuadés que le maillage territorial est la clé. Ainsi, rien qu'en 2022, nous ambitionnons de faire sortir de terre deux autres stations ; l'une aux Sables-d'Olonne, l'autre à

« L'exemple de la mise en place de la filière hydrogène dans la région des Pays de la Loire montre que la solution, c'est de...

...bâtir un premier écosystème pour mettre en adéquation l'offre et la demande. »

MATTHIEU GUESNÉ  
Lhyfe

Saint-Gilles-Croix-de-Vie », détaille Laurent Favreau, président du Sydev.

Ce projet traduit ainsi parfaitement l'approche territoriale plébiscitée par la France dans sa Stratégie hydrogène. Le principe est de travailler à la fois sur des projets de production et des projets de consommation d'hydrogène au sein des territoires. Et, selon le premier « Radar des start-up » du cabinet Wavestone publié fin novembre 2021, les Régions jouent le jeu en appuyant, de façon non négligeable, des start-up. « Certains territoires sont déjà engagés dans des projets d'envergure, d'autres lancent à peine leur démarche. Une chose est sûre, les territoires forment un levier incontournable du développement de l'hydrogène à l'échelle nationale. Les start-up de la filière hydrogène s'insèrent donc naturellement dans ces écosystèmes territoriaux et développent leurs produits dans une approche intégrée », constate le cabinet, sans oublier les grands groupes, qui misent sur la collaboration avec des jeunes entreprises pour accélérer leur transition énergétique. ①

Florence Roussel

## Vers de l'hydrogène vert marin

— Si la start-up Lhyfe voit dans cette première station-service la concrétisation de ses projets territoriaux, elle construit d'ores et déjà d'autres briques du système. Côté production, elle s'est associée à Doris, société intégrée d'ingénierie et de gestion de projets en pointe dans les développements offshore. Les deux entreprises veulent accélérer leurs travaux autour de la production d'hydrogène offshore afin de lancer la première éolienne flottante à intégrer un système de production d'hydrogène.

# Rouler à l'hydrogène avec l'écosystème HYVIA



HYVIA est une coentreprise entre Renault Group, acteur majeur de l'automobile, et Plug Power, leader mondial des solutions pour l'hydrogène et les piles à combustible. Elle propose une offre complète de solutions de mobilité à l'hydrogène : véhicules utilitaires légers, stations de recharge, électrolyseur, financement, maintenance et gestion de flottes.

Après avoir révélé ses véhicules fin 2021, inauguré son usine à Flins Refactory en mars 2022, les premiers utilitaires seront sur les routes à partir de mi-2022. L'ambition d'HYVIA est d'atteindre 30 % de parts de marché des véhicules utilitaires légers H2 en Europe d'ici 2030.

HYVIA propose 3 véhicules H2 avec zéro

émission de CO<sub>2</sub>\*, une autonomie accrue et un temps de recharge de 5 minutes. Ils sont équipés d'une batterie de 33 kWh et d'une pile à combustible de 30 kW.

- Renault Master Van H2-TECH, fourgon de 12 m<sup>3</sup> pour le transport de marchandises et colis. Jusqu'à 500 km d'autonomie.

- Renault Master Châssis Cabine H2-TECH, pour des transformations sur-mesure. Version fourgon grand volume de 20 m<sup>3</sup>. Jusqu'à 1 000 kg de charge utile et près de 250 km d'autonomie.

- Renault Master City Bus H2-TECH, pour le transport jusqu'à 15 passagers (9 assis, 6 debout, accès pour personnes à mo-

bilité réduite), proposant près de 300 km d'autonomie.

HYVIA est implantée en France, sur 4 sites : Villiers-Saint-Frédéric, Flins, Batilly et Gretz-Armainvilliers. ■

\* À l'usage, ni CO<sub>2</sub>, ni polluants atmosphériques réglementés, conformément au cycle d'homologation (WLTP).

## CONTACT

Tél. : 06 08 71 63 31

Mail : sales@hyvia.eu

Site : www.hyvia.eu



Charge



Flottes privées



Sites publics



# TSG

www.tsg-solutions.com

Votre prestataire pour les solutions de mobilité responsable

Conception

Travaux

Maintenance



Gaz



Systèmes



Lavage



Énergie | Eau | Déchets | Risques | Bâtiment | Aménagement | Biodiversité

# L'ENVIRONNEMENT RECRUTE



[www.emploi-environnement.com](http://www.emploi-environnement.com)

▼  
Profil-thèque  
en lien avec les  
recruteurs

▼  
+ de 2 500 offres  
d'emploi



▼  
Des sessions  
de job-dating



REJOIGNEZ  
LES ACTEURS  
DE LA TRANSITION



EMPLOI  
ENVIRONNEMENT.com

## EMPLOI-FORMATION

— La filière se prépare déjà à former le personnel qui donnera réalité aux nombreux projets industriels en développement. L'enjeu est énorme et aucun retard ne doit être pris, selon **Stéphanie Paysant**, directrice de la communication, co-animatrice de la thématique compétences-métiers-formations chez France Hydrogène.

▼ AVIS D'EXPERT

## DÉVELOPPER LES COMPÉTENCES ET LES MÉTIERS POUR RÉUSSIR LE DÉPLOIEMENT D'UNE INDUSTRIE STRATÉGIQUE ET CRÉATRICE D'EMPLOIS

**D**

éfi technique, économique, politique, la transition énergétique représente aussi un challenge pour le monde du travail.

Les mutations ont besoin d'être accompagnées pour former les salariés de la transition.

Les technologies de l'hydrogène sont en particulier concernées. Avec une stratégie nationale qui vise à développer l'hydrogène comme filière industrielle stratégique en France, à l'horizon 2030, ce sont plus de 100 000 emplois directs ou indirects qui vont être créés dans le domaine de l'hydrogène. Avec actuellement 3 500 emplois recensés dans la filière, ce grand potentiel concerne toute une chaîne de valeur en cours de déploiement : des fabricants d'équipements et de composants (électrolyseurs, piles à combustible, réservoirs, véhicules, stations de recharge...), aux intégrateurs et fournisseurs de services (étude, maintenance, audit). Au total, le référentiel des compétences-métiers de la filière réalisé par France Hydrogène identifie 84 métiers pour ce secteur.

### Des métiers qui doivent se colorer à l'hydrogène

Premier constat : la filière hydrogène fait largement appel à des métiers existants auxquels il faut ajouter une spécialisation plus ou moins importante – une « coloration hydrogène » – qui est, dans un premier temps, dispensée en entreprises, la formation initiale étant encore très peu développée.

La filière étant en phase d'industrialisation, les



© France Hydrogène

activités de conception sont prédominantes, les profils d'ingénieurs multidomains sont plébiscités, 49 métiers sur 84 sont accessibles par des profils dotés a minima d'un bac+5 scientifique. Ces ingénieurs doivent, pour beaucoup, maîtriser les domaines techniques liés à l'hydrogène comme le génie électrique, la mécanique des fluides, les aspects qualité-sécurité-environnement.

Mais la montée en puissance des technologies et le déploiement progressif d'installations de production et de distribution d'hydrogène dans plusieurs bassins du territoire vont nécessiter, à court terme, des profils de techniciens et d'opérateurs, avec une forte maîtrise opérationnelle de la mécanique, de la métrologie et du génie électrique.

### Des métiers déjà en tension

Les métiers de la filière hydrogène font appel à des compétences techniques déjà très demandées par d'autres filières. Ainsi, dix-sept métiers ont été identifiés comme en tension par les acteurs industriels interrogés lors de l'enquête. Cependant, une analyse complémentaire, menée par Pôle emploi, du marché de l'emploi à l'échelle nationale et reposant sur plusieurs indicateurs met en avant que 73 métiers sur les 84 recensés sont déjà à un niveau de tension maximal. Ainsi, les difficultés de recrutement pourraient s'accroître continuellement et fortement jusqu'à ralentir l'essor de la filière hydrogène. Les facteurs explicatifs de cette situation sont multiples : un lien emploi-formation encore insuffisant, une forte intensité d'embauche,

une inadéquation géographique entre offre et demande d'emplois, etc.

### Des métiers pour redonner de l'attractivité à l'industrie

Il faut donc répondre immédiatement et sur le long terme à ces besoins en compétences et en qualifications. Immédiatement, en adaptant les compétences et les métiers aux particularités de l'hydrogène et, à moyen terme, en développant une offre de formation spécifique à la filière. Des offres se structurent et se mettent en place – du BTS coloré à l'hydrogène aux diplômes d'ingénieur intégrant des enseignements spécialisés, ou encore des expérimentations au sein d'incubateurs H2 pour la formation professionnelle. Les moyens sont là pour pallier le risque de pénurie de savoir-faire : le plan de relance injecte 15 milliards d'euros pour l'emploi et la formation, avec un grand plan national des compétences techniques. L'AMI

Compétences et métiers d'avenir ouvert actuellement permettra de mettre en place de nouveaux dispositifs de formation.

La filière hydrogène peut faire changer l'image et la perception de l'industrie en France et lui redonner de l'attractivité, la faire sortir des clichés d'une industrie lourde en déclin pour se tourner vers les métiers de l'innovation et de la transition écologique. Du chaudronnier à l'ingénieur en matériaux, soudeur ou électromécanicien, tous sont requis par cette filière industrielle d'excellence. Mais pour faire coïncider les enjeux stratégiques aux réalités du monde professionnel, des efforts doivent immédiatement se porter sur l'adaptation et le développement de formations pour pallier le risque de pénurie de savoir-faire à un moment où les besoins en recrutement s'accroissent. ①

**Stéphanie Paysant**, directrice de la communication, co-animatrice de la thématique Compétences-métiers-formations chez France Hydrogène.

« Il faut répondre immédiatement et sur le long terme à ces besoins en compétences et qualifications. »



**L'École de l'innovation énergétique et de la mobilité durable**

- 80 % d'étudiants parrainés et financés par l'industrie
- 500 nouveaux élèves chaque année
- 50 % d'étudiants internationaux

### Découvrez nos programmes :



Motorisations et mobilité durable



Économie et management de l'énergie



Procédés pour l'énergie et la chimie



Géoressources et énergie



2022 | AtSchool  
Avis certifiés | ESG



choose mycompany



Cti



EUR-ACE\*



DIPLÔME D'INGÉNIEUR CONTRÔLÉ PAR L'ÉTAT



DIPLÔME CONFORTANT GRADE DE MASTER CONTRÔLÉ PAR L'ÉTAT

[www.ifp-school.com](http://www.ifp-school.com)





École handi-accueillante



## EMPLOI-FORMATION

## TÉMOIGNAGE

# LE RECRUTEMENT, FACTEUR LIMITANT POUR LA FILIÈRE

— Des 84 métiers de la filière, 17 sont actuellement sous tension, selon l'association France Hydrogène. Trois recruteurs du secteur de l'hydrogène – Lhyfe, McPhy et H2V – témoignent des challenges rencontrés et de leurs tactiques pour y remédier.

## É

**lectromécanicien, soudeur, ingénieur mécatronique, conducteur de camions, tuyauteur-canalisateur : tous ces métiers et encore douze autres sont sous tension, au sein de la filière de l'hydrogène.**

Selon un rapport de France Hydrogène d'avril 2021, cela représente 20 % des postes en recrutement actuellement recensés. Pour l'association des acteurs de la filière, cette situation s'explique par un « manque de disponibilité des compétences et des profils associés à court terme », dû principalement à une « concurrence entre plusieurs filières industrielles ». Malgré la diversité des quelques entreprises focalisées sur la production d'hydrogène décarboné, les mêmes problèmes sont effectivement rencontrés à tous les niveaux de la filière.

### Une diversité de besoins, un même blocage

« Les métiers que nous recherchons sont aussi beaucoup demandés dans d'autres filières industrielles, mieux connues et installées, remarque Jean-Marc Leonardht, directeur général de l'entreprise H2V. La production d'hydrogène reste, quant à elle, très peu connue et comporte encore beaucoup d'inconnues. » Filiale de Samfi Invest, société normande d'investissement dans les énergies renouvelables, H2V ambitionne de concevoir, construire et exploiter des usines de production massive d'hydrogène vert d'au moins 100 mégawatts (MW) chacune. Elle projette déjà d'implanter un site près de Dunkerque, d'ici à 2024, après avoir cédé son premier projet, près du Havre, à Air Liquide. Comptant actuellement une quinzaine de collaborateurs, H2V souhaite en recruter quatre supplémentaires dans les mois à venir. Plus facile à dire qu'à faire, selon Jean-Marc Leonardht : « en trois

mois, nous n'avons encore pu recruter personne. Et les quelques CV que j'ai eus entre les mains, transmis par deux agences de recrutement, sont loin d'être satisfaisants. » Les chefs de projet et ingénieurs mécaniciens que le dirigeant d'H2V recherche ne sont pas les seuls à s'inscrire dans une apparente pénurie. Des métiers tels que les électromécaniciens ou la maintenance, en particulier concernant l'automatisme et le pilotage des installations, restent également très convoités.

« Il existe assez peu de talents disponibles dans le domaine de l'hydrogène du fait de la relative récence du secteur, atteste Anne Delprat, directrice des ressources humaines chez McPhy. Il faut faire preuve d'agilité et nous mettre en quête de profils qui viennent déjà du milieu industriel, avec des compétences transférables vers l'hydrogène. » Ancré en France, en Allemagne et en Italie, McPhy est concepteur, fabricant et intégrateur d'électrolyseurs et de stations d'avitaillement. Début 2022, le groupe comptait 150 collaborateurs, et souhaite en recruter 60 de plus avant la fin de l'année. « Le capital humain est le principal atout de notre société, les enjeux RH sont donc primordiaux pour permettre à McPhy de réussir son passage à l'échelle », souligne Anne Delprat, en référence aux grands projets d'industrialisation prévus par McPhy, comme la future « gigafactory » d'électrolyseurs que l'entreprise prépare à Belfort.

La société bretonne, Lhyfe, rencontre, elle aussi, des difficultés à réaliser ses ambitions de recrutement. D'ici à la fin de l'année, elle souhaite doubler ses effectifs et dépasser les 160 collaborateurs. Spécialisée dans la production et le transport d'hydrogène vert, Lhyfe ne recherche pas de techniciens mais peine à trouver des candidats en matière d'automatisme, de pilotage et d'électroniciens de puissance.

« La plupart des profils que nous recevons viennent du secteur pétrogazier ou de la construction



offshore, cherchant à trouver un nouveau sens à leur activité, témoigne Nolwenn Belleguic, directrice générale adjointe, chargée des RH et de la communication de Lhyfe. Sur ce point, nous offrons une bonne alternative par rapport aux industriels, mais l'hydrogène requiert un niveau d'expertise particulier, notamment en termes de sécurité. » La fameuse molécule est en effet très volatile, nécessitant un équipement spécial et normé pour éviter toute dangerosité.

### La formation comme solution ?

« Une usine de 100 MW nécessite au moins 35 techniciens. La France devra compter 65 usines, et donc créer 2000 postes, pour atteindre 6,5 GW d'électrolyseurs, son objectif pour 2030. De toute évidence, nous ne sommes pas bien partis pour y arriver à temps », estime Jean-Marc Leonardht. L'association France Hydrogène envisage même un besoin de recrutement atteignant 150000 nouveaux postes sur toute la chaîne de valeur dans moins de dix ans. Pour le directeur d'H2V, la vision prometteuse et les premiers soutiens du gouvernement ne suffisent pas à concrétiser ce potentiel : « Entre un objectif et la capacité à le réaliser, il y a une différence. » Il appelle à résoudre les problèmes de lenteur administrative et surtout à construire un programme de forma-

tion sur le plan national, « pourquoi pas en décrétant l'hydrogène d'intérêt public majeur ».

L'absence de formations spécifiques dans le domaine est l'épine commune dans le pied des recruteurs de la filière. Anne Delprat, de McPhy, le constate également mais invite « les industriels à jouer leur rôle » en contribuant, avec les universités et les organismes de formation, à « collaborer dans une logique de filière pour mutualiser les expertises, et développer une approche industrialisée sur toute la chaîne de valeur ». McPhy a, en outre, opté pour la formation en interne. Avec des partenaires spécialisés dans la sécurité, le groupe travaille avec d'autres industriels à déployer un module de formation et de sensibilisation aux sujets de sécurité. Pour valoriser ses offres de recrutement à travers l'Europe, la société a même récemment lancé son propre « job-board » afin de « donner encore plus de visibilité sur nos parcours de métier et de formation, notre engagement RSE et notre approche globale ». H2V a contribué, quant à elle, à la construction d'une « H2 Académie » dans l'agglomération Caux Seine, s'appuyant en premier lieu sur un BTS dispensé près du lieu d'implantation de la future usine d'Air Liquide. Elle compte faire de même dans d'autres territoires identifiés comme des « bassins industriels majeurs » : d'abord à Lille, puis à Fos-sur-Mer, dans les Bouches-du-Rhône. ①

Félix Gouty

« La plupart des profils que nous recevons viennent du secteur pétrogazier ou de la construction offshore, cherchant à trouver un nouveau sens à leur activité. »

NOLWENN BELLEGUIC,  
Lhyfe



Un ensemble de solutions pour vos systèmes fluides

Composants  
Assemblages sur mesure  
Formations certifiantes  
Détections de fuites

Swagelok

#### ● Composants de haute qualité, haute performance

Raccords, tubes, vannes, flexibles pour moyenne et haute pression jusqu'à 4134 bar. Homologués EC-79 en 350 bar ou 700 bar.

#### ● Solutions sur mesure

Conception et assemblage de vos montages des plus simples aux plus complexes.

#### ● Service d'inspection sur site

Diagnostic complet de tout ou partie de vos systèmes fluides. Inspection flexibles, fuites de gaz comprimé, stations H2

#### ● Formation filière hydrogène

«NEW» L'essentiel des connaissances sur l'hydrogène, des fondamentaux jusqu'aux principales applications pour la mobilité, et les solutions techniques

[www.swagelok.com.fr](http://www.swagelok.com.fr)

Swagelok Lyon  
+33 4 72 37 05 70  
info@lyon.swagelok.com

Swagelok Paris  
+33 1 69 18 96 00  
info@swagelokparis.fr

## ACTUALITÉS

# TROIS NOUVEAUX POINTS CHAUDS DE LA FORMATION

— Le gouvernement mise sur sept bassins industriels dans lesquels développer l'hydrogène décarboné. Focus sur l'émergence de formations dans trois d'entre eux : en Bretagne, en Normandie et en Franche-Comté.

L

**a Stratégie nationale de développement de l'hydrogène décarboné (SNDHD) a identifié « sept bassins industriels » sur lesquels se focaliser.** Ces pôles industriels devraient

concentrer 85 % de la demande potentielle du pays en hydrogène « vert » d'ici à 2030. Ce besoin de production, ou de décarbonation de l'hydrogène « gris » déjà produit, entraînera nécessairement d'importantes campagnes de recrutement, qui ne trouveront preneurs qu'en formant des candidats adéquats. Sur les sept futurs bassins de production et d'exploitation d'hydrogène décarboné, trois d'entre eux se munissent déjà de premières formations.

## La formation pionnière franc-comtoise

« Autonomie énergétique, lutte contre le changement climatique et arrêt de la dépendance aux énergies fossiles : l'hydrogène coche toutes les cases, atteste Olivier Jouffroy, directeur de l'unité sciences, techniques et gestion de l'industrie (STGI) à l'université de Franche-Comté. Il est évident que l'hydrogène sera une énergie prépondérante en Franche-Comté et que la fabrication de piles à combustible et de solutions de stockage sera son offre majeure. » L'unité de formation et de recherche qu'Olivier Jouffroy supervise propose un cursus post-bac conduisant à un master en ingénierie énergétique, intitulé « Hydrogène, énergie et efficacité énergétique » (CMI H3E). Implantée dans le bassin industriel de Belfort-Montbéliard, l'université est en lien avec des entreprises comme Alstom ou Peugeot. « L'idée initiale, lors de la création de notre unité, était d'ouvrir un laboratoire spécialisé en hydrogène pour fabriquer des piles à combustible à Belfort, explique Olivier Jouffroy. L'activité de recherche n'est donc pas étrangère aux compétences et techniques requises au développement de l'industrie. Tout cela crée une sorte de complétude. » Le CMI H3E forme une douzaine d'étudiants à l'ingénierie

électrique, en leur apprenant les bases de la chimie, du stockage, de la gestion d'un mix et des modules d'efficacité. Spécialisés dans la conception de piles à combustible alimentées par de l'hydrogène, ses laboratoires orientent les élèves (en apprentissage pendant leurs deux années de master) vers des métiers tels que la gestion de piles à combustible, mais également la cogénération, le stockage et le pilotage d'énergie. Ils pourront intégrer, par exemple, les effectifs locaux de Rougeot énergie, de Faurecia, des avions Mauboussin ou encore de la start-up Xyrogen, fondée par d'anciens ingénieurs de recherche de l'université elle-même. « Avec ce CMI, nous avons réfléchi à une segmentation des compétences pour constituer une offre de formation en continu, focalisée sur la technique et l'entretien des piles à combustible », explique l'universitaire.

Ce parcours, inauguré en 2016 et dont la première promotion a été diplômée l'an dernier, a reçu le prix de la sensibilisation, de l'éducation et de la formation dans le cadre des trophées Hydrogènes de l'association France Hydrogène, en mars 2022. « Le bénéfice, pour nous, c'est vraiment un gain de visibilité : pouvoir dire à la société que la filière hydrogène est en train de se structurer et aux industriels que nous pouvons leur fournir le personnel compétent qu'ils recherchent », souligne Olivier Jouffroy.

## L'élan breton

Toutes les formations n'ont néanmoins pas le bénéfice de disposer de laboratoires historiques ou de transmettre des connaissances précises en ingénierie. Mais la vague d'investissements récemment déployés par le gouvernement français est déjà parvenue à susciter la création de nouveaux diplômés professionnels dans d'autres bassins industriels. Sur la côte ouest, l'université Bretagne-Sud s'est particulièrement mobilisée autour du pôle industriel de Saint-Nazaire. En septembre 2021, son IUT, à Lorient, a nouvellement « coloré » une licence professionnelle existante (ME2D2) avec plus d'une centaine d'heures de cours

L'objectif est de mettre en place un plateau technique et des formations diplômantes dans la filière hydrogène orientés vers des applications industrielles.

Sylvain Delenclos,  
IUT du littoral  
Côte-d'Opale



Étudiants du master « Hydrogène, énergie et efficacité énergétique » de l'unité sciences, techniques et gestion de l'industrie (STGI) à l'université de Franche-Comté.

sur l'hydrogène – soit un tiers du temps pédagogique. Pour l'instant, un seul étudiant occupe néanmoins un poste d'apprenti en lien avec le fameux gaz. « L'élan et le dynamisme sur ce vecteur énergétique sont très récents, attestent Nicolas Bourbigot, enseignant référent hydrogène de cette licence, et Marc Jaouen, chargé d'études et de projets sur la thématique hydrogène à l'université Bretagne-Sud. Nous n'avons, par exemple, qu'une seule borne d'avitaillement à l'hydrogène à Lorient, bientôt installée pour un futur système de bus. » La formation parie donc sur les promesses d'avenir de la filière à l'échelle locale : l'usine Michelin de Vannes, qui consomme de l'hydrogène carboné pour fabriquer ses pneus, s'est engagée à le verdir entièrement avant 2030. Hygo, entreprise jointe de Morbihan Énergies et d'Engie, exploitera bientôt un électrolyseur dans ce but précis.

Mais former les prochains gestionnaires d'énergie à de tels projets n'est pas le seul but de l'IUT de Lorient. Ce dernier compte également inclure des contenus pédagogiques sur l'hydrogène dans d'autres parcours : trois bachelors universitaires de technologie (BUT) portant respectivement sur l'hygiène et la sécurité, la logistique ainsi que la maintenance industrielle, et une licence pro sur la construction navale. Par ailleurs, l'École d'ingénieurs de l'université Bretagne-Sud, l'ENSIBS, développe un nouveau diplôme d'ingénieur « énergie et hydrogène ». « Nous sommes aux balbutiements, mais aussi en pleine accélération, surtout dans l'urgence de la montée des prix des énergies fossiles, affirment les deux pédagogues bretons. L'hydrogène contribuera à diminuer ces prix – et la région l'a bien compris. »

## La Normandie mise sur la technique

L'axe Seine-Normandie est un autre bassin bientôt converti à l'hydrogène et en plein essor en termes de formations. À proximité, l'IUT du littoral Côte-d'Opale, près de Dunkerque, possède déjà depuis quelques années un « banc pédagogique » consacré à la pro-



duction et au stockage de l'hydrogène dans le cadre d'un module de cours de fin de BUT « Métiers de la transition et de l'efficacité énergétiques ». « L'objectif est de mettre en place un plateau technique et des formations diplômantes dans la filière hydrogène orientés vers des applications industrielles, notamment dans le cadre de la décarbonation de l'industrie », explique Sylvain Delenclos, responsable de la formation.

L'agglomération Caux Seine a misé, quant à elle, sur un BTS sur la maintenance des fluides, ouvert en septembre 2021 dans un lycée de Bolbec. Cette formation technique, vouée au montage et à l'entretien des électrolyseurs, n'est que la première pierre d'un édifice plus ambitieux : une « H2 Académie », dotée de plusieurs plateaux techniques. Ce projet veut surfer sur la mise en service, prévue en 2023 ou 2024, de la première usine de production massive d'hydrogène décarbonée, la Normand'Hy d'Air Liquide, à Port-Jérôme. « Lorsqu'une nouvelle filière s'installe, il faut libérer des diplômés rapidement, accompagner les dispositifs et les structures de formations en conséquence, déclare Virginie Carolo-Lutrot, présidente de Caux Seine Agglo. On ne peut pas monter une filière en un claquement de doigts. Il faut anticiper les besoins de formation pour entraîner les recrutements. » ①

Projet étudiant lié à l'hydrogène dans le cadre du master « Hydrogène, énergie et efficacité énergétique » de l'unité sciences, techniques et gestion de l'industrie (STGI) à l'université de Franche-Comté.

Félix Gouty

## EMPLOI-FORMATION

— Avec la future usine d'hydrogène vert portée par Air liquide en ligne de mire, l'agglomération Caux-Seine travaille déjà à former les techniciens de demain.

**Virginie Carolo-Lutrot**, sa présidente, revient sur les projets locaux de formation.



© Caux Seine Agglo

“ **INTERVIEW**

## IL FAUT REPARLER D'INDUSTRIE DE MANIÈRE POSITIVE

”

— **ACTU-ENVIRONNEMENT** : Quelle est la stratégie de Caux Seine Agglo et de la Région Normandie en matière d'hydrogène ?

**VIRGINIE CAROLO-LUTROT** : Notre intercommunalité est un territoire énergétique. Nous avons toujours travaillé sur toutes les questions d'énergie, de pétrochimie et d'accompagnement des entreprises dans leur transition pour devenir plus vertueuses. Depuis 2016, donc bien avant le lancement du plan France 2030, nous avons amorcé la décarbonation de notre industrie et de la mobilité lourde grâce à l'hydrogène. Demain, ce sera au tour de la mobilité légère, puis du « power-to-gas ». Nous voulons consommer moins d'hydrogène « gris » et plus d'hydrogène « vert », décarboné. Nous développons aussi des solutions de captation du carbone, pour le comprimer, dans le port du Havre, avant d'être réutilisé dans des serres ou stocké en mer du Nord.

Nous avons lancé la première étape en matière d'hydrogène vert : Air liquide Normand'Hy. La première usine d'hydrogène décarboné sera implantée à Port-Jérôme, sur le territoire de Caux Seine Agglo. Elle devrait produire 20 000 tonnes d'hydrogène « vert » grâce à une électricité produite localement par l'éolien terrestre, le photovoltaïque et, bientôt, l'éolien offshore. Elle contribuera aux 100 000 emplois nécessaires dans le domaine à l'échelle nationale d'ici à 2030. Et c'est pour cela que, selon nous, la formation est la clé, pour transformer certains postes spécialisés, pour leur donner cette « couleur » hydrogène.

**AE** : Quelles formations aux métiers de l'hydrogène existent dans votre territoire ?

**VCL** : Nous avons inauguré un BTS, en septembre 2021, sur la maintenance des fluides (la tuyauterie dans les usines) avec une spécialisation hydrogène, au lycée Pierre-de-Coubertin, à Bolbec. Jusqu'à 25 diplômés pourront trouver un poste dans une usine de

massification, puis dans la mobilité lourde et l'avitaillement de bus à hydrogène. La formation est très technique. Elle dispose justement d'un plateau technique, assez restreint, pour expérimenter le montage et l'entretien d'électrolyseurs.

Nous avons cependant l'ambition d'aller plus loin et de créer une véritable « H2 Académie » dans ce même établissement. Ce projet, inscrit dans le plan Normandie Hydrogène, est à l'étude avec le ministère de l'Éducation nationale, le Conservatoire national des arts et métiers (Cnam) et la Région. Il vise la formation de mécaniciens, de chaudronniers ou encore d'opérateurs production-utilisation. Les élèves, de la seconde aux études supérieures, profiteraient d'un plateau technique sur l'hydrogène gazeux construit spécialement pour eux sur une friche industrielle. Son ouverture coïnciderait avec l'inauguration de l'usine d'Air liquide, d'ici à 2023 ou 2024. Nous envisageons même un second plateau technique, sur l'hydrogène liquide, à Vernon (Eure). À terme, nous souhaitons en faire une académie industrielle et aller jusqu'à proposer des alternances avec les entreprises locales.

**AE** : Comment travaillez-vous à l'élaboration de ces futures formations ?

**VCL** : Nous sommes en pourparlers avec l'Éducation nationale pour obtenir des moyens suffisants en termes d'enseignants, d'équipements et d'outils. Il nous faut répondre aux vrais besoins des entreprises, avec des formations en continu. Les recruteurs ne s'intéressent ni aux formations en trois semaines ni en trois ans. Nous voulons élaborer, avec le ministère, un diplôme en deux à trois ans, tout au plus, et une certification professionnelle, avec le Cnam, pour couvrir les besoins locaux. Les filières professionnelles deviennent plus agiles avec des certifications qu'avec seulement des colorations de diplôme. Il nous faut vraiment allier les deux.

**AE :** La formation et la reconversion doivent-elles être impérativement soutenues par l'État?

**VCL :** Le soutien public est nécessaire. Lorsqu'une filière s'installe, il faut libérer des diplômes rapidement, accompagner les dispositifs et les structures de formation en conséquence. Les porteurs de projets et les collectivités qui collaborent avec eux ont des demandes auxquelles il faut répondre avec plus de souplesse.

**AE :** Comment améliorer l'attractivité de ces parcours?

**VCL :** D'une manière générale, il faut reparler d'industrie de manière positive. Il faut revenir vers les plus jeunes. Les établissements scolaires doivent avoir des propositions de formation. En matière de gestion prévisionnelle des emplois et des compétences, Caux Seine Agglo participe à des « éduc'tours » pour que les élèves de 3<sup>e</sup> voient des métiers en blouses « propres » et consacrés à la fabrication de leurs objets de tous les

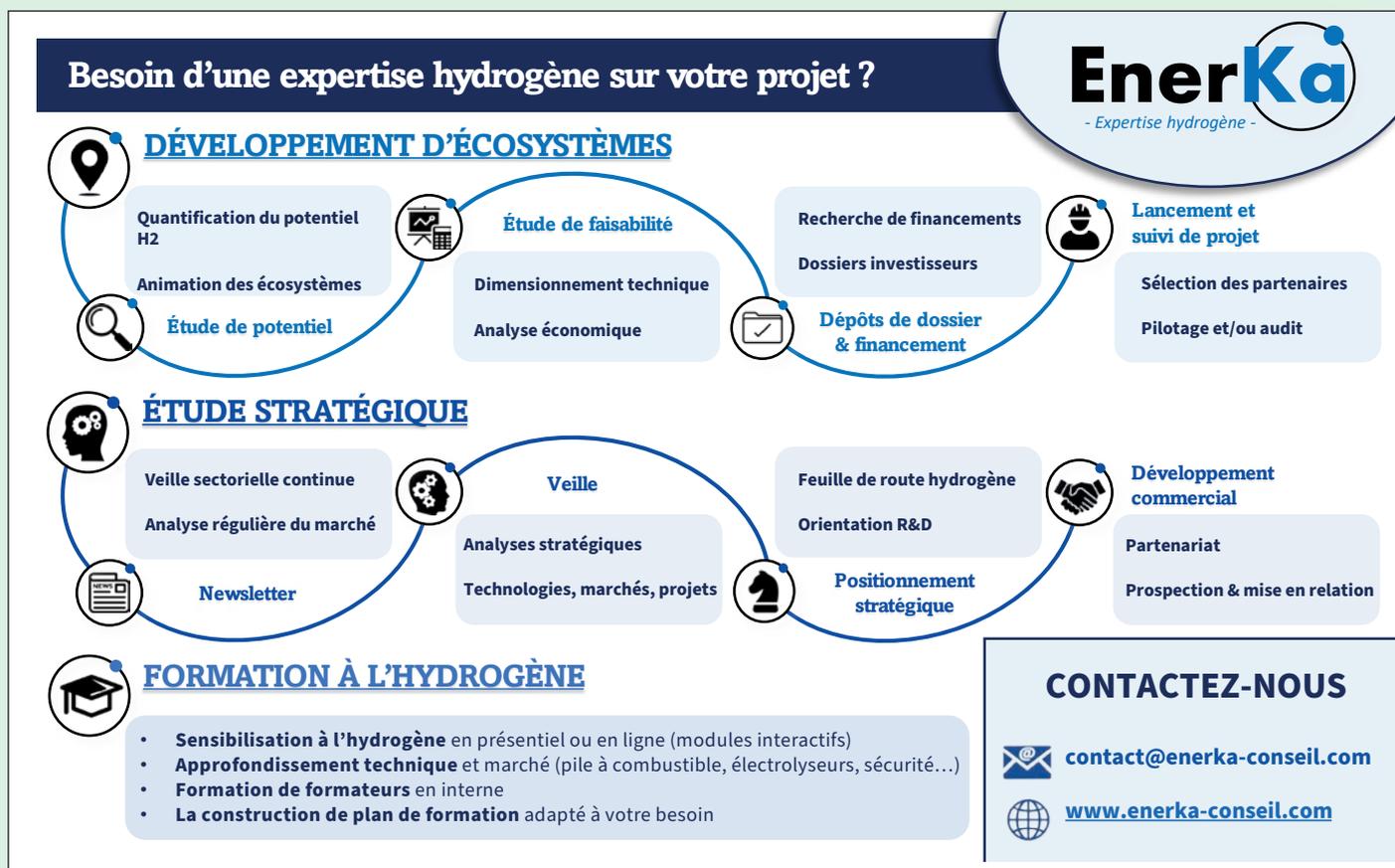
« On ne peut pas monter une filière en un claquement de doigts. Il faut anticiper les besoins de formation pour entraîner les recrutements »

jours. L'industrie, ce sont des torchères, mais aussi des crèmes hydratantes et des couches pour bébé. Il faut sensibiliser la population aux reconversions vers les métiers de la transition écologique.

À Port-Jérôme, dont je suis la maire, j'ai engagé la reconstruction de l'entrée de la ville autour d'un bâtiment de synergie interentreprises, pour réconcilier l'industrie et la population locale. Il accueille des sessions de formation et des conférences. Il pourra bientôt accueillir des présentations réalisées par les dirigeants et salariés de l'usine d'Air liquide. Il me semble important de construire des espaces d'expression en ce sens.

Le nerf de la guerre, c'est l'attractivité des métiers. On ne peut pas monter une filière en un claquement de doigts. Il faut anticiper les besoins de formation pour entraîner les recrutements. ①

Propos recueillis par **Félix Gouty**



RENCONTRES

# LES MÉTIERS DE L'HYDROGÈNE SE DÉVOILENT

Derrière cette filière émergente de l'hydrogène, des hommes et des femmes passionnés s'investissent déjà pour mener à bien des projets ambitieux et construire des écosystèmes hydrogène dans toutes les régions de France.

*Propos recueillis par Florence Roussel*



MAUD AUGÉAI,  
RESPONSABLE DÉVELOPPEMENT FRANCE CHEZ LHYFE



© LHYFE

## IL Y A TOUT À ÉCRIRE, C'EST UNE FORMIDABLE AVENTURE

— En tant que responsable du développement de Lhyfe en France, je développe des projets de production d'hydrogène renouvelable dans toute la France. Mon quotidien est de monter des écosystèmes ambitieux pour rendre l'hydrogène renouvelable disponible au plus grand nombre et le moins cher possible. Pour cela, il faut aller chercher du volume, de futurs consommateurs et synchroniser toute la chaîne de valeur : production, distribution et usages. Basée au siège à Nantes, mon quotidien consiste en l'animation de l'équipe Lhyfe présente au plus proche des territoires français. Notre rôle dans le montage des écosystèmes hydrogène est de rassembler tous les acteurs d'un projet, de coordonner les actions et d'accompagner nos clients et partenaires dans la construction de leur projet de décarbonation (montage des dossiers de subventions, sécurisation technique, communication...). C'est un enjeu important car ces premiers écosystèmes se doivent

d'être des succès. Je fais également beaucoup de pédagogie autour de l'hydrogène renouvelable : interviews, tables rondes, conférences, etc. J'ai fait une école de commerce avec une spécialisation en économie urbaine. Je suis arrivée chez Lhyfe en septembre 2019, après une carrière dans le déploiement de projets solaires, puis dans le développement de partenariats public-privé dans l'énergie et l'immobilier. Je voulais retourner vers le monde de l'énergie et travailler dans une entreprise en lien avec mes valeurs. Surtout, je cherchais à redevenir actrice, à faire des projets à impact positif sur l'environnement. Et l'hydrogène renouvelable, c'est l'avenir. Personne ne met en doute le fait que l'hydrogène fera partie de la transition énergétique, car on ne pourra pas décarboner certains secteurs sans hydrogène. Il y a tout à écrire, c'est une formidable aventure ! Nos projets se confrontent à des contraintes, c'est un challenge qui pimente le quotidien. Il faut donc être curieux, résilient. J'apprends tous les jours ! 🗨️

« Je cherchais à redevenir actrice, à faire des projets à impact positif sur l'environnement. »

MAUD AUGÉAI



**LUCIAN SOLCAN, RESPONSABLE INGÉNIERIE ÉLECTRIQUE ET AUTOMATISME, CHEZ H2V**



© AMÉLIE MARZOUK - H2V

## J'AI LA CHANCE DE TRAVAILLER SUR UN SUJET TRÈS INTÉRESSANT AVEC LEQUEL ON APPREND TOUS LES JOURS

— **Contribuer à la conception technique des usines pour la fabrication massive d'hydrogène et assister l'équipe de développement en première ligne pour préparer les projets. Voici mon rôle chez H2V en tant que responsable ingénierie électrique et automatisme.** Je travaille sur la conception du réseau électrique dans sa totalité au sein des sites H2V depuis le poste de raccordement, la station électrique et la distribution moyenne et basse tension. Je pilote aussi la partie automatisme de l'usine (matériel et logiciel).

J'assiste l'équipe développement lors des échanges avec l'administration (Dreal) et les gestionnaires de réseaux comme RTE ou GRTgaz, sur le plan technique. Car dès que l'on a identifié un nouveau terrain pour y installer une usine de production d'hydrogène, il faut valider techniquement le projet : valider la puissance électrique nécessaire, rédiger les documents techniques pour la Dreal, justifier le design technique. C'est ce que je pilote avec l'appui, parfois, de bureaux d'études spécialisés. J'ai une formation initiale en électrotechnique avec

une partie automatisme que j'ai mise au service de l'éolien terrestre et flottant pendant dix ans. Mais je voulais me donner un nouveau challenge professionnel et, en rejoignant H2V et la filière hydrogène en 2018, j'ai été exaucé.

Dans une petite structure comme celle-ci, on est très vite multicasquettes, impliqué dans plusieurs projets et on monte vite en responsabilité et en compétence. Quant à l'hydrogène, c'est la nouveauté et le côté décarbonation de l'industrie qui m'intéressent. Je continue dans les énergies renouvelables et je suis très en amont d'une filière en émergence. J'ai la chance de travailler sur un sujet très intéressant avec lequel on apprend tous les jours. La base, en termes de compétence réseau électrique et automatisme, est la même que dans toute l'industrie, car tout est normé. La nouveauté de l'hydrogène vient des technologies à appréhender et de l'aspect nouveau de la sécurité. C'est un sujet passionnant, un vrai défi où il faut savoir garder son sang-froid ! **🔊**



**« Je voulais me donner un nouveau challenge et, en rejoignant la filière hydrogène, j'ai été exaucé. »**

**LUCIAN SOLCAN**

## EMPLOI-FORMATION



ALEXANDRE SERPOLLIER, RESPONSABLE  
MAÎTRISE DES RISQUES INDUSTRIELS CHEZ MCPHY



## JE SUIS FIER DE TRAVAILLER DANS L'HYDROGÈNE

— En tant que responsable maîtrise des risques industriels chez McPhy, mon rôle est d'étudier et de valider la conception d'unités de production et de distribution d'hydrogène pour nous assurer un fonctionnement avec le plus haut niveau de sécurité.

En appliquant des méthodes et des standards rigoureux et exigeants, je quantifie le risque associé au design de l'équipement et je propose des modifications pour le réduire. Le risque zéro n'existe pas, mais il faut s'en rapprocher. Mon travail se focalise donc sur le produit et sur sa conception, afin de m'assurer qu'elle garantisse le niveau de sécurité le plus élevé possible. Dans le monde de l'industrie, toutes les méthodes sont éprouvées et standardisées, elles s'appliquent donc à tous les



secteurs industriels. Pour travailler dans le milieu de l'hydrogène, j'ai dû toutefois me former à certaines spécificités liées à nos produits, mais l'hydrogène reste une molécule comme une autre, dont on peut anticiper le comportement. Avant de travailler chez McPhy, j'ai fait une école d'ingénieur où j'ai été formé à la sûreté de fonctionnement des systèmes industriels. Au début de ma carrière, j'ai mis cette formation au service du secteur du pétrole et du gaz. Une opportunité m'a ensuite été donnée de travailler pour l'hydrogène décarboné, que j'estime être un vecteur très intéressant pour décarboner la mobilité et l'industrie. J'ai ainsi rejoint McPhy en 2019 et, aujourd'hui, je suis fier de travailler dans l'hydrogène. C'est un secteur qui a de vraies valeurs et qui place la sécurité comme un critère majeur de son développement. ①

« L'hydrogène reste une molécule comme une autre, dont on peut anticiper le comportement. »

ALEXANDRE  
SERPOLLIER



AUDE HUMBERT, CHEFFE DE PROJET CHEZ H2V

## NOUS SOMMES AU TOUT DÉBUT DE L'HISTOIRE, C'EST ENTHOUSIASMANT

— En tant que cheffe de projet chez H2V, mon rôle est de mettre en musique tous les acteurs et les éléments nécessaires pour faire avancer un projet d'usine de production d'hydrogène par électrolyse de l'eau. Je dois donc coordonner les études à réaliser, organiser des rencontres avec de nombreuses parties prenantes (élus, associations, État, riverains) ou encore m'assurer que le site du projet est viable. Pour cela, je travaille en relation avec nos ingénieurs, des bureaux d'études, des fournisseurs d'équipements, des gestionnaires de réseaux... Comme formation, j'ai fait une école de commerce, puis un stage durant lequel

j'ai commencé à fréquenter le secteur de l'énergie et de l'environnement, ce qui m'a passionné ! Alors j'ai poursuivi ma formation par un master en économie de l'énergie pour acquérir les bases techniques nécessaires à ces sujets complexes. L'hydrogène, je connaissais peu, car il y a encore quelques années, on n'en parlait pas dans un contexte énergétique et cela représentait tout au plus quelques heures de cours. Mais de nature curieuse et adaptable, je me suis formée en interne, au gré des réunions, en posant des questions et, aujourd'hui, c'est à mon tour d'expliquer les enjeux de l'hydrogène pour tous les acteurs



© AMÉLIE MARZOUK - H2V

que je côtoie dans mon métier. C'est un secteur où il faut être adaptable, curieux et réactif. Il faut aussi une certaine rigueur pour gérer beaucoup d'aspects différents, une réglementation complexe et mouvante. Car avec l'hydrogène, nous sommes au tout début de l'histoire, il y a beaucoup de communication et de pédagogie à faire. C'est ce qui me plaît : c'est innovant, parfois un peu incertain mais enthousiasmant ! ①

# FAIRE AVANCER LA MOBILITÉ LOURDE GRÂCE À L'HYDROGÈNE VERT.

ENGIE, avec Anglo American, développe en Afrique du Sud un système intégré complet de production, de ravitaillement et de transport d'hydrogène vert. Une première pour le secteur de la mobilité lourde.

**Pour agir ensemble, chaque jour compte.**

The ENGIE logo is centered at the bottom of the page. It features a white, curved swoosh above the word "ENGIE" in a bold, white, sans-serif font. The background of the entire advertisement is a photograph of a large industrial site at sunset or sunrise. In the foreground, a worker in a blue uniform and a white hard hat is seen from behind, looking towards a complex piece of machinery. The machinery includes a large yellow structure on the left, a vertical chain of links in the center, and various pipes and components on the right. The sky is a mix of blue and orange, with the sun low on the horizon, creating a lens flare effect.

L'énergie est notre avenir, économisons-la!

Plus d'informations sur [engie.com/business-case/engie-x-anglo-american](https://www.engie.com/business-case/engie-x-anglo-american)  
ENGIE : SA AU CAPITAL DE 2 435 285 011 € - RCS NANTERRE 542 107 651. © Anglo American.

# Hydrogène

BOURGOGNE  
FRANCHE-COMTÉ



UN ÉCOSYSTÈME UNIQUE ET DES TERRITOIRES IMPLIQUÉS  
POUR ACCUEILLIR VOS PROJETS !



DES PLATEFORMES  
DE TESTS  
POUR PILES ET RÉSERVOIRS



DES PROJETS  
D'ENVERGURE NATIONALE

- > Ferroviaire
- > Méthanation
- > Stockage



DES LABORATOIRES  
SPÉCIFIQUEMENT AXÉS  
SUR L'HYDROGÈNE

Fuel Cell Lab



DES TERRITOIRES  
MOTEURS



DES GRANDS LEADERS  
INDUSTRIELS,  
DES PME ET DES START-UP

Alstom  
Faurecia  
H2Sys  
Justy  
MaHyTec...



DES FORMATIONS  
CIBLÉES SUR L'HYDROGÈNE  
DU LYCÉE AU SUPÉRIEUR



DES PARTENAIRES  
POUR ACCOMPAGNER  
VOS PROJETS



Pôle Véhicule du Futur

Solutions pour véhicules & mobilités du futur

Retrouvez-nous les 11 & 12 mai 2022  
sur Hyvolution - stand K14