



## CONTACT

Pour toutes questions, conseils ou demandes de mises en relations ou pour collaborer avec l'Université de Nantes, contactez :

**L' ESPACE ENTREPRISES**  
espace.entreprises@univ-nantes.fr  
Tél. : 02 72 64 88 88

**Magazine réalisé par :**  
la direction de  
la communication  
de l'Université de Nantes

**Directeur de publication:**  
Marc Péron

**Coordination éditoriale  
et artistique:**  
Christelle Bervas

**Rédaction:**  
Xavier Debontride,  
Journaliste

**Remerciements à:**  
Bruno Auvity, Oliver Joubert,  
Florence Paumier, Philippe  
Jan, Pierre Teissier et  
la Direction de la recherche,  
des partenariats et  
de l'innovation (DRPI)  
de l'Université de Nantes  
pour leurs contributions

**Maquette:**  
superbold.fr

**Infographies:**  
Emilie Ragouet

**Photos:**  
©Jean-Claude MOSCHETTI/  
IMN/CNRS Photothèque,  
©David Gallard/Université  
de Nantes

**Site internet:**  
www.univ-nantes.fr

**Impression:**  
imprimerie Allais - encres  
végétales - papier fedrigoni :  
Arena Rough extra White



UNIVERSITÉ DE NANTES

# # Spécial Hydrogène

Juin 2021

# UNNNEWS

# BUSINESS



*Le magazine  
Business  
de l'Université  
de Nantes  
à destination  
des entreprises*

Dossier à retrouver en intégralité  
en ligne sur [unnews.univ-nantes.fr](https://unnews.univ-nantes.fr)  
Textes, photos et vidéos

Une partie de  
l'équipe de l'IMN  
(Institut  
des Matériaux  
Jean Rouxel  
Unité mixte  
de recherche  
CNRS 6502 -  
Université  
de Nantes)  
sur le toit  
du laboratoire  
de Nantes



## Sommaire

### p. 1—5

L'hydrogène, une énergie prometteuse qui cherche son modèle économique

### p. 2

La cartographie nantaise

### p. 5

Un programme national à 7 milliards d'euros

### p. 6—12

Du maritime à l'aéronautique, l'hydrogène nourrit les ambitions nantaises

### p. 8

Les projets Estuaire et H2 Loire Vallée parient sur l'hydrogène vert

### p. 9

Trois questions à Bruno Auvity (LTEN) : « L'hydrogène n'est pas une solution magique et unique »

### p. 10

Avec le projet Polyjoule, les étudiants nantais montent sur le podium

### p. 13—15

Le regard des sciences sociales : L'hydrogène, une énergie récalcitrante

### p. 16

Pour aller plus loin : contacts utiles et personnes ressources

1ÈRE ET 4ÈME DE COUV. :  
© JEAN-CLAUDE MOSCHETTI/IMN/  
CNRS PHOTOTHÈQUE

# L'hydrogène, une énergie prometteuse qui cherche son modèle économique

L'hydrogène fait beaucoup parler de lui et certains parent ce vecteur d'énergie de toutes les vertus pour inventer le monde décarboné de demain. Dans les laboratoires nantais, de nombreux chercheurs travaillent depuis longtemps sur les technologies associées, en lien avec de nombreuses entreprises du territoire, de la start-up au groupe international. Une expertise reconnue au niveau national.

TEXTES : [XAVIER DEBONTRIDE](#), JOURNALISTE

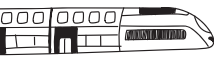
L'hydrogène fait le buzz. Pas une semaine ou presque sans que la fameuse molécule n'alimente les conversations, des rubriques scientifiques des magazines grand public aux émissions de débats économiques, en passant par les tribunes politiques. Tous vantent les vertus de cette petite molécule, levier majeur de la décarbonation de secteurs essentiels tels que l'industrie et la mobilité lourde. Pourtant, cette médiatisation spectaculaire dissimule un double paradoxe : les technologies liées à l'hydrogène ne sont ni aussi nouvelles, ni aussi faciles à maîtriser qu'il n'y paraît de prime abord. Dans ce dossier de l'UNBN, nous sommes allés à la rencontre de plusieurs chercheurs et spécialistes de l'Université de Nantes afin de mieux comprendre les enjeux économiques et les perspectives industrielles de ce vecteur énergétique à la fois simple et complexe. Une certitude, à ce stade : les moyens financiers à mobiliser sont à la mesure des enjeux sociétaux. L'annonce récente d'un plan gouvernemental de 7 milliards d'euros illustre bien cette ambition ([lire encadré](#)).



## Emploi et R&D

D'autant que les retombées économiques et en termes d'emplois sont alléchantes. « **Ce sont entre 58.000 et 107.000 emplois qui seraient générés à l'horizon 2030 pour la filière. De plus, le développement de l'hydrogène a un rôle déterminant sur le maintien de l'emploi dans des filières devant se réinventer pour être en cohérence avec les objectifs de réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre : l'industrie automobile, ferroviaire, métallurgique, de la chimie, etc.** », souligne un récent rapport de l'Ademe sur les potentiels industriels et économiques de l'hydrogène en France, publié en décembre 2019.

Les efforts de R&D, notamment, impliquent une très large mobilisation des acteurs publics et privés. À Nantes, de nombreux laboratoires travaillent depuis des décennies sur ces sujets, en lien étroit avec les entreprises privées. >



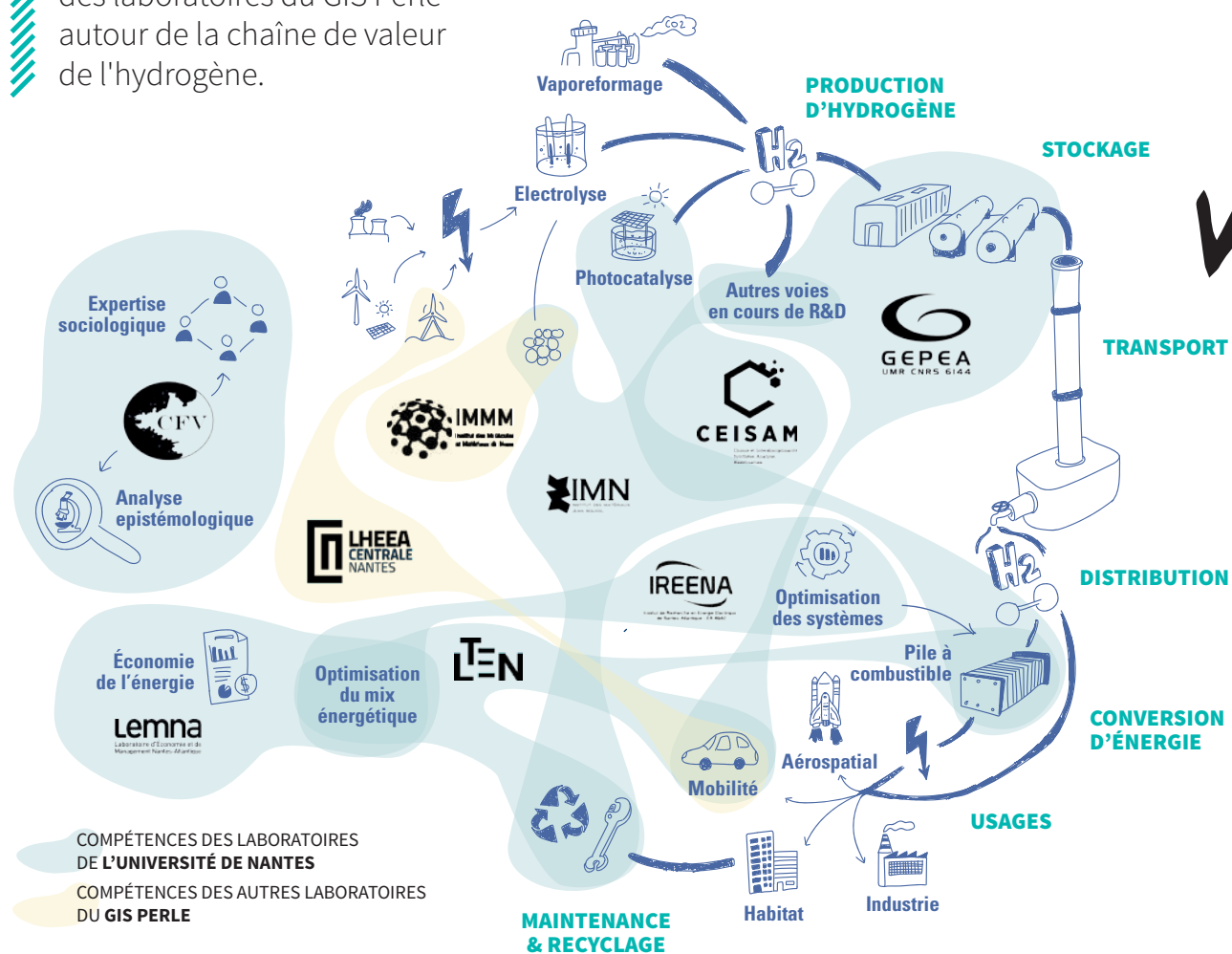
Actuellement, les pistes les plus prometteuses concernent moins les véhicules légers et les voitures particulières que les solutions de mobilité lourde (camions, trains, avions), où la question de l'encombrement et du poids de la pile à combustible (PAC) - indispensable pour convertir l'hydrogène en énergie électrique - est moins prégnante. Il est de même dans le secteur industriel, tertiaire ou résidentiel, où la PAC permet de délivrer une énergie thermique mais aussi électrique, dont les bâtiments sont de plus en plus gourmands.



Cellule de piles à combustible ou d'électrolyseur



Cartographie des compétences des laboratoires du GIS Perle autour de la chaîne de valeur de l'hydrogène.



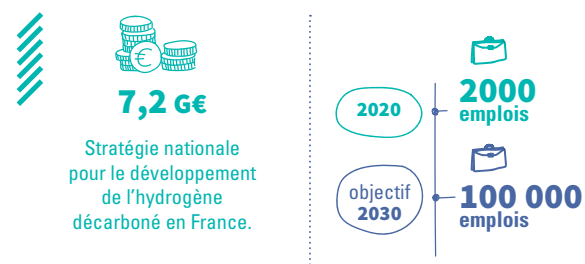
### Ecosystème nantais

À l'Université de Nantes, ces travaux de recherche autour de l'hydrogène mobilisent de nombreux chercheurs. Le groupement d'intérêt scientifique PERLE (Pôle d'excellence de la recherche ligérienne en énergie), consacre ainsi une partie de ses travaux à cette discipline. **« On peut aujourd'hui parler de l'économie de l'hydrogène. Le 20e siècle s'est construit autour du pétrole, il n'est pas impossible que l'on fasse le 21e siècle sur l'économie de l'hydrogène »**, insiste Philippe Jan, président du comité directeur du GIS Perle et directeur adjoint de la CCI des Pays de Loire, en charge de l'accompagnement du développement des entreprises.

**« Nous n'avons pas à rougir de l'écosystème nantais en matière d'hydrogène »**, affirme de son côté Olivier Joubert, chercheur à l'Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel (IMN), et spécialiste de l'hydrogène depuis près de 30 ans.

Preuve de cette reconnaissance académique, il vient d'être porté à la tête de la toute nouvelle Fédération de recherche Hydrogène du CNRS

(FRH2), forte de 28 laboratoires et plus de 270 chercheurs permanents à l'échelle nationale, dont les nantais IMN, LTEN et IREENA. En partenariat avec des universités, des organismes de recherche et des écoles d'ingénieurs, cette fédération créée le 1er janvier 2020 a officialisé son lancement le 9 mars 2021 lors d'un événement digital. Elle se positionne clairement sur le volet de la transition sociotechnique, afin d'identifier les business models pertinents, de favoriser l'acculturation de l'ensemble du tissu socio-économique et de proposer des formations initiales, continues, tout au long de la vie pour diffuser la connaissance autour de l'hydrogène auprès d'un large public.



## Travaux sur les usages

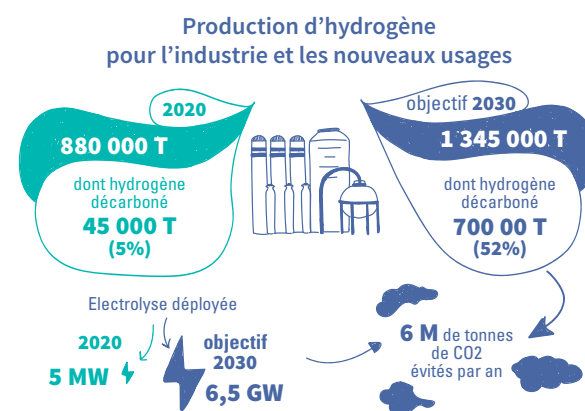
« Il faut faciliter la diffusion des connaissances sur la recherche actuelle à travers les échanges et les collaborations aussi bien en interne, qu'avec nos partenaires industriels et historiques », insiste ainsi Olivier Joubert, convaincu de l'intérêt de croiser les regards sur cette recherche d'avenir. Dans le cadre de l'IMN, il assure ainsi la coordination d'un projet franco-allemand en lien avec le groupe industriel Air liquide dans le but de mettre au point un électrolyseur destiné à produire de l'hydrogène à moyenne température.

En tant que président du comité directeur du GIS Perle, Philippe Jan souhaite quant à lui renforcer le dialogue entre les spécialités de recherche. « Historiquement, le socle du cœur de métier sur l'hydrogène en France se trouve en région Auvergne-Rhône-Alpes, autour de Grenoble. Ici, en Pays-de-Loire, on va plutôt développer les usages, la propulsion de véhicules spéciaux en lien notamment avec les activités maritimes, fluviales et portuaires », souligne-t-il.

Sans être exhaustifs, les exemples présentés dans ce dossier traduisent ce dynamisme et éclairent ces enjeux essentiels au cœur de la transition énergétique.

## Différents modes de production

Mais à ce stade, un petit rappel scientifique s'impose : la molécule H<sub>2</sub> n'existe pas ou peu à l'état naturel. Il faut en effet la produire en l'extrayant de composés où cet élément chimique est très présent comme par exemple le gaz naturel ou simplement l'eau. Actuellement, 96% de l'hydrogène produit dans le monde utilise des ressources fossiles, comme le gaz, le pétrole ou le charbon, dans des procédés fortement émetteurs de gaz



à effet de serre (CO<sub>2</sub>). Cet hydrogène « gris » est très utilisé dans l'industrie, notamment pour la production d'ammoniac ou le traitement des carburants. La part mondiale de l'hydrogène « décarboné » issu de l'électrolyse de l'eau ou de la biomasse, est donc encore anecdotique, malgré son potentiel. Et encore faut-il distinguer dans cette catégorie l'hydrogène fabriqué à partir de ressources fossiles avec une séquestration du CO<sub>2</sub> produit (on parle alors d'hydrogène « bleu »), ou à partir d'électrolyse de l'eau en utilisant de l'électricité d'origine nucléaire (c'est l'hydrogène « jaune », qui fait également débat). Le seul véritable hydrogène « vert » provient quant à lui d'électrolyse de l'eau, elle-même réalisée en utilisant de l'électricité d'origine renouvelable et/ou des ressources renouvelables.

## Prix et stockage

Actuellement, la production mondiale d'hydrogène atteint 75 millions de tonnes, pour des usages à 99% industriels. « Il s'agit d'une technologie mature, de A à Z : on sait produire de l'hydrogène, mais avec beaucoup d'énergie et de carbone. Pour produire vert, il faut de l'électrolyse et de l'énergie renouvelable, et là, les coûts de production ne sont pas encore compétitifs par rapport aux énergies fossiles », résume

Olivier Joubert. On se situe dans un rapport de coût d'un à quatre entre l'hydrogène carboné et sa version « écologique ».

Outre ses modalités de production, encore coûteuses, l'un des principaux enjeux économiques de l'hydrogène concerne également son stockage et sa distribution. Pour stocker 1 kg d'hydrogène, il faut 17 kg de contenant. Sachant qu'il est nécessaire d'embarquer environ 6 kg d'hydrogène pour assurer une autonomie de 600 kilomètres à un véhicule roulant à l'hydrogène, on comprend que la question du poids soit critique et qu'elle rende les constructeurs automobiles

circonspects. Sans oublier la nécessité de créer de lourdes infrastructures de distribution nécessitant des technologies pointues : pour la mobilité ou le stockage d'énergie, par exemple, l'hydrogène doit être comprimé à 700 bars ou être liquéfié à très basse température (-253°) !

Autant de contraintes techniques que les chercheurs et les entreprises cherchent à contourner, via des expériences en laboratoires ou à travers des démonstrateurs territoriaux. La décennie qui s'ouvre sera cruciale pour passer du prototype à la grande série industrielle. ■

## Un programme national à 7 milliards d'euros

Le plan de relance national hydrogène de 7 milliards d'euros a été dévoilé fin 2020 par le gouvernement. Les laboratoires nantais réunis au sein de la Fédération de recherche hydrogène (FRH2) du CNRS y ont contribué, afin d'encourager la création d'une filière industrielle et de plusieurs acteurs académiques de référence. « Il s'agit d'investir notamment dans la recherche fondamentale pour mettre au point les systèmes qui sortiront dans 15 ans et qui se conçoivent aujourd'hui dans les laboratoires », précise Olivier Joubert, directeur de la FRH2, et représentant du CNRS au sein du conseil d'administration de l'association France Hydrogène. Le plan national de 7 milliards prévoit environ 1% pour la recherche, soit près de 65 millions d'euros. Une partie de ce montant est fléchée sur des projets définis par les copilotes du programme, le CEA et le CNRS, autour de 3 objectifs : industrie décarbonée, mobilité lourde et stockage de l'énergie verte. L'Institut des matériaux de Nantes (IMN) sera associé à la définition de ces projets.



Olivier Joubert :

- directeur de la FRH2,
- représentant du CNRS au sein du conseil d'administration de l'association France Hydrogène
- professeur à l'École d'Ingénieurs de l'Université (Polytech Nantes),
- chercheur à l'Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel (IMN),
- et spécialiste de l'hydrogène depuis près de 30 ans

# Du maritime à l'aéronautique, l'hydrogène nourrit les ambitions nantaises

Les travaux de recherche sur l'hydrogène menés par les équipes nantaises pourraient déboucher demain dans plusieurs domaines industriels, notamment la logistique, le maritime et l'aéronautique, bien implantés sur le territoire.



© PIERRE-FRANÇOIS GÉRARD / SEMITAN



© JEAN-CLAUDE MOSCHETTI/IMN/CNRS PHOTO THÉRIÈRE

À Nantes, l'hydrogène n'est pas qu'un concept à la mode. Plusieurs laboratoires de recherche de l'Université travaillent en lien étroit avec des entreprises et des territoires pour expérimenter et tester des solutions innovantes. Et les champs d'applications potentiels sont légion, comme le rappelle Olivier Joubert, chercheur à l'Institut des matériaux de Nantes Jean Rouxel (IMN). « Avec l'hydrogène, on peut en théorie faire fonctionner tout ce qui est électrique, du chargeur de téléphone au sous-marin ! », souligne-t-il en souriant. Toutefois, pour les petites charges et les objets en mobilité - du smartphone au véhicule électrique léger - la batterie est plus pratique car elle se recharge en quelques minutes. Pour la voiture personnelle jusqu'au sous-marin, la batterie est plus lourde et longue à recharger, et dans ce cas, la pile à combustible transformant l'hydrogène en énergie va être compétitive. C'est pourquoi les recherches les plus prometteuses portent sur les usages en mobilité lourde, l'industrie et la logistique, ou l'alimentation électrique des grands bâtiments. À ce propos, les Nantais se souviennent du bâtiment Abalone Energies, construit à Saint-Herblain il y a une quinzaine d'années dans l'esprit d'un démonstrateur multi-énergies, avec un système d'alimentation électrique utilisant une pile à combustible.



## Démonstrateurs

En matière d'applications industrielles, le secteur de la construction navale a longtemps fait figure de pionnier dans la région. On sait ainsi que les ingénieurs de Naval group ont planché sur l'hydrogène pour la propulsion des sous-marins sur le site d'Indret, mais, secret défense oblige, ces recherches sont restées confidentielles.



Philippe Jan, directeur adjoint de la CCI des Pays de Loire, en charge de l'accompagnement du développement des entreprises, est également le président du comité directeur du GIS Perle (pôle d'excellence de la recherche ligérienne en énergie). Cet ingénieur électro-chimiste de formation se passionne depuis longtemps pour

l'hydrogène et ses acteurs. Il est la mémoire vivante des travaux menés sur le territoire depuis le début des années 2000. « À partir de 2004 à Nantes, l'association mission Hydrogène, pilotée par Henri Mora, a permis de faire émerger des démonstrateurs dans trois domaines précis : le maritime, le fluvial et le portuaire, autour d'applications lourdes qui donnent un avantage à ce vecteur d'énergie », rappelle-t-il. Une réalisation concrète, partagée au quotidien par des centaines d'habitants, est née de ces travaux : le Navibus, navire à propulsion hydrogène pour le transport de passagers à Nantes sur la Loire, exploité par la Semitan.



## Manutention et mobilité rurale

Depuis le lancement, il y a quatre ans de l'appel à projets de l'Ademe pour soutenir des « territoires hydrogène », une petite vingtaine de projets ont été identifiés dans les Pays de la Loire. Parmi ceux-ci, figurent notamment la solution de production d'hydrogène vert de la startup Lhyfe, créée par des anciens ingénieurs du CEA Tech. Leur usine située à Bouin, en Vendée, est raccordée au parc d'éoliennes voisin et alimentera des véhicules utilitaires, des collectivités, des industriels. Le long de la Loire, c'est le projet H2 Loire Vallée, entre Nantes et Saint-Nazaire, qui mise sur l'hydrogène autour du maritime, du fluvial et du portuaire, notamment pour les gros engins de manutention qui fonctionnent au diesel (voir encadré). Non loin de Nantes, dans le pays de Redon, le territoire développe une expérimentation prometteuse de « mini transport collectif de mobilité rurale », selon la formule de Philippe Jan, avec la société H2X, qui planche sur un mix solaire/hydrogène pour faire rouler son mini-véhicule.



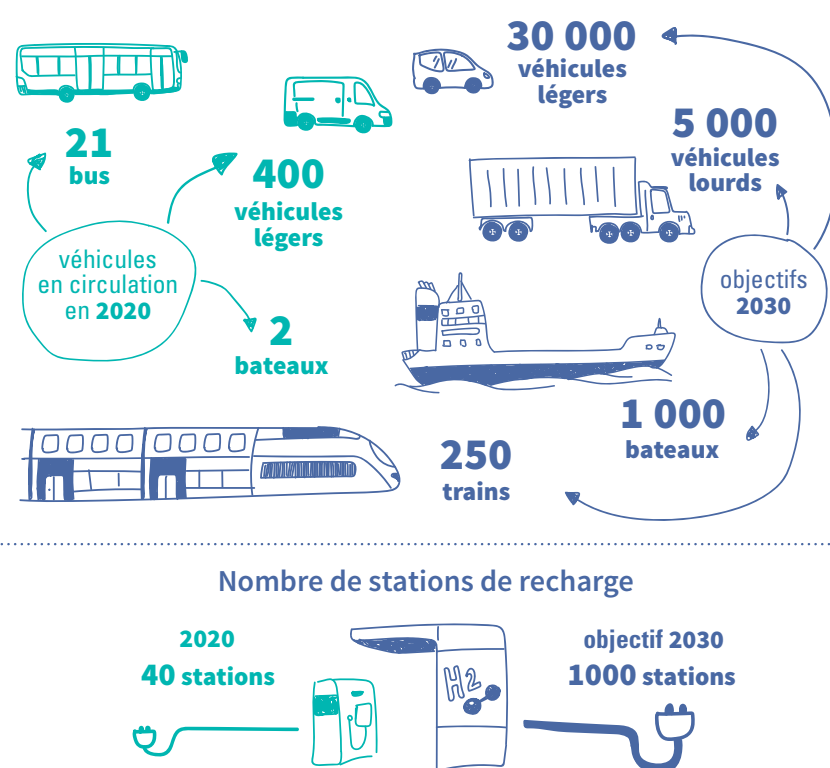
## Economies d'échelle

On le voit, toutes ces initiatives sont très décentralisées, et ancrées dans des territoires recherchant un lien direct entre la production et l'utilisation d'énergie décarbonée. Ce modèle pourrait toutefois être appelé à évoluer, selon Philippe Jan, à la faveur du plan de relance français et européen, qui voit émerger une nouvelle approche, celle de la production concentrée, avec une méga-usine et un vaste réseau de distribution. « **Les économies d'échelle vont permettre de réduire le coût de production de l'hydrogène. Le principe est connu : pour réaliser ce type de grande installation, il faut un électrolyseur, des tuyaux, des centres de contrôle commande, ce sont des techniques industrielles bien maîtrisées** », souligne le président du comité directeur du GIS Perle. Pour l'instant, ces mégasites de production existent uniquement sur le papier.

À l'image de la future usine d'Air Liquide au Québec, sur le site de Bécancour, annoncée en janvier dernier. Autre annonce spectaculaire, au cours du dernier trimestre 2020 : celle du méga-projet de Shell et du danois Orsted, à l'horizon 2035, qui viserait à produire autant d'hydrogène que la production française actuelle, soit 1 million de tonnes par an.

On note également un intérêt récent de la part de l'aéronautique à l'égard de « l'avion à hydrogène » envisagé par Airbus à l'horizon 2030-2035. De quoi, certainement, avoir un impact sur le décollage de la filière nantaise, avec des travaux de recherche portant sur les réservoirs, la liquéfaction, la pile à combustible à très haut rendement. ■

Perspectives des mobilités  
à l'horizon 2030  
(données nationales)  
► [www.france-hydrogene.org](http://www.france-hydrogene.org)



## Les projets H2 Loire Vallée et Estuaire parient sur l'hydrogène vert

► C'est une illustration concrète de l'émergence d'une filière « hydrogène vert » en Pays de la Loire, intégrant toute la chaîne de valeur, de la création de la molécule à l'usage. Lauréat du dernier appel à projets de l'Ademe aux côtés de 6 autres en France, le projet H2 Loire Vallée réunit plusieurs acteurs, dont le grand port de Saint-Nazaire, le motoriste Man Energy Solutions, l'entreprise Europe Technologies... Il vise à offrir de l'hydrogène vert dans l'estuaire de la Loire à partir d'électricité issue de parcs renouvelables du Grand Ouest. « **Il s'agit d'un méga-projet de production d'hydrogène vert, de stockage et de distribution avec un engin mobile d'hydrogène sous pression, imaginé par Europe Technologies** », détaille Philippe Jan, de la CCI des Pays de Loire. Les débouchés de cette énergie verte seront dans le domaine du maritime et des installations industrielles portuaires.

À noter que Man ES est également investi, aux côtés de l'Université de Nantes et du bureau d'études Akajoule, au sein du projet Estuaire, lui aussi financé par l'Ademe. L'énergie fatale produite par le motoriste sur son site de Saint-Nazaire pourrait, demain, servir à alimenter des installations industrielles voisines, via des réseaux intelligents (smart grids).

Cette approche multi-énergies offre un réel potentiel pour l'hydrogène, qui pourrait être produit à l'aide d'énergies renouvelables et servir à alimenter les lourds équipements de manutention que l'on trouve dans les espaces portuaires. Des machines qui fonctionnent pour l'instant au diesel, fortement émetteur de CO2.



**TROIS QUESTIONS À** > **Bruno Auvity**, enseignant-chercheur, laboratoire de thermique et énergie de Nantes (LTEN)

## « L'hydrogène n'est pas une solution magique et unique »



**1** Avec votre collègue Christophe Josset, vous êtes spécialisés sur l'hydrogène au sein du LTEN. Quel regard portez-vous sur l'engouement actuel à l'égard de cette solution ?

Attention ! L'hydrogène n'est pas la solution magique et unique aux problèmes d'énergie que connaît la planète. Je me méfie des trop belles histoires : l'hydrogène n'est certainement pas l'alpha et l'oméga que certains imaginent. Mais c'est une brique passionnante.

Avec Christophe Josset, nous articulons nos travaux avec des approches locales, pour tenter de desserrer des verrous scientifiques. La recherche amont est appliquée sur l'objet « Pile à combustible » (PAC), avec des approches systémiques autour des besoins de mobilités, des réseaux intelligents (smart grids) et des réseaux énergétiques. Dans ce domaine, les compétences du LTEN concernent la

mécanique des fluides et la thermodynamique, autour de la pile à combustible à basse température. Nous travaillons aussi avec des collègues électriciens du laboratoire IREENA sur les réseaux électriques intégrant des solutions de stockage à base d'hydrogène. Actuellement, nous étudions un projet de mutualisation des énergies sur des bâtiments de Nantes métropole, dans le cadre de leur rénovation.

**2** Quels sont les principaux défis que vous devez relever, en tant que chercheur, autour de la pile à combustible ?

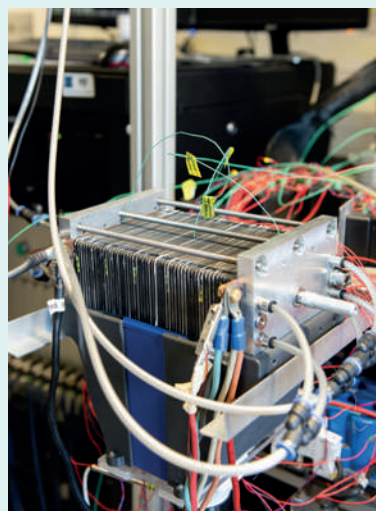
Nous visons clairement un enjeu d'amélioration du dispositif. Nous souhaitons pouvoir maîtriser ou prédire les vieillissements des matériaux utilisés dans la fabrication des PAC. Aujourd'hui, très peu de fabricants s'engagent sur des durées de vie importantes. Désormais, nous réalisons des microcomposants en 3D, nous améliorons les performances, la capacité des piles à combustible. Ces avancées vont permettre d'améliorer la fiabilité des réseaux d'énergie. Ce que nous recherchons, c'est l'optimisation technico-économique : quelles sont les solutions techniques viables, les coûts associés, afin d'optimiser les systèmes ?

C'est tout le pari de la recherche que de mieux comprendre ces coûts et leur optimisation.

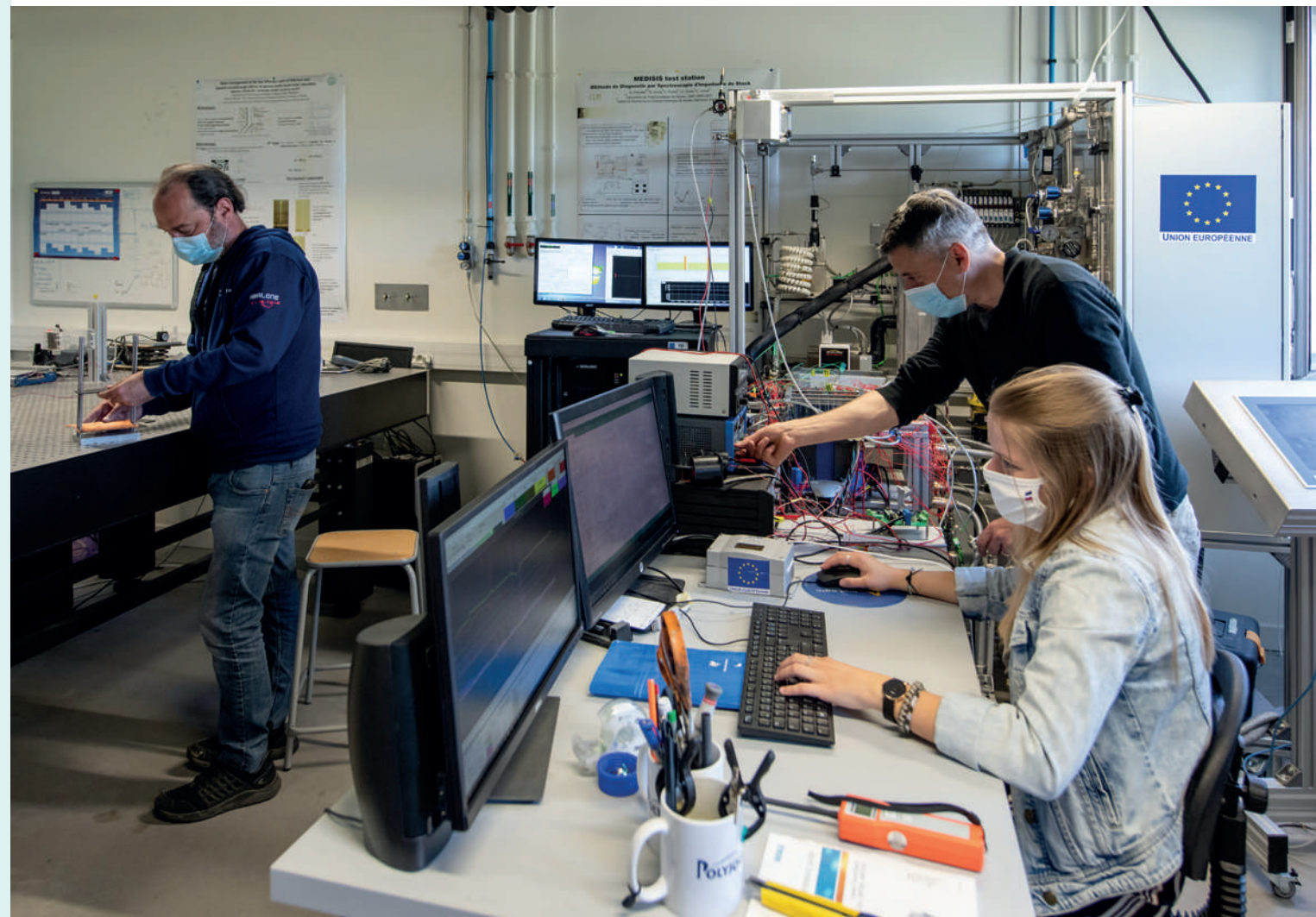
*Pile à combustible*

**3** Quels sont selon vous les freins au développement de l'hydrogène dans nos sociétés ?

Ce n'est pas un verrou technologique : je fais utiliser des PAC par des étudiants depuis 2005, ce sont des technologies connues et accessibles. Le verrou, il est plutôt au niveau de l'énergie elle-même : les hydrocarbures fossiles sont encore trop bon marché pour que les solutions alternatives soient rentables. Il faudrait par exemple introduire des mécanismes de compensation, avec une fiscalité adaptée. Le principal challenge pour toutes les alternatives à l'énergie fossile, c'est la densité énergétique du stockage. Et c'est l'un des problèmes de l'hydrogène : comment augmenter la puissance délivrée en diminuant l'encombrement ? Je suis convaincu que l'hydrogène aura sa place dans un schéma global d'énergies multi-sourcées, mais ce n'est pas la seule et unique solution.



*Une partie de l'équipe Hydrogène au LTEN dans leur laboratoire à Polytech Nantes*



## « La recherche académique ne doit jamais être trop éloignée des préoccupations industrielles »

*Olivier Joubert, chercheur à l'Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel (IMN), et spécialiste de l'hydrogène depuis près de 30 ans - directeur de la FRH2 (Fédération de recherche Hydrogène du CNRS)*

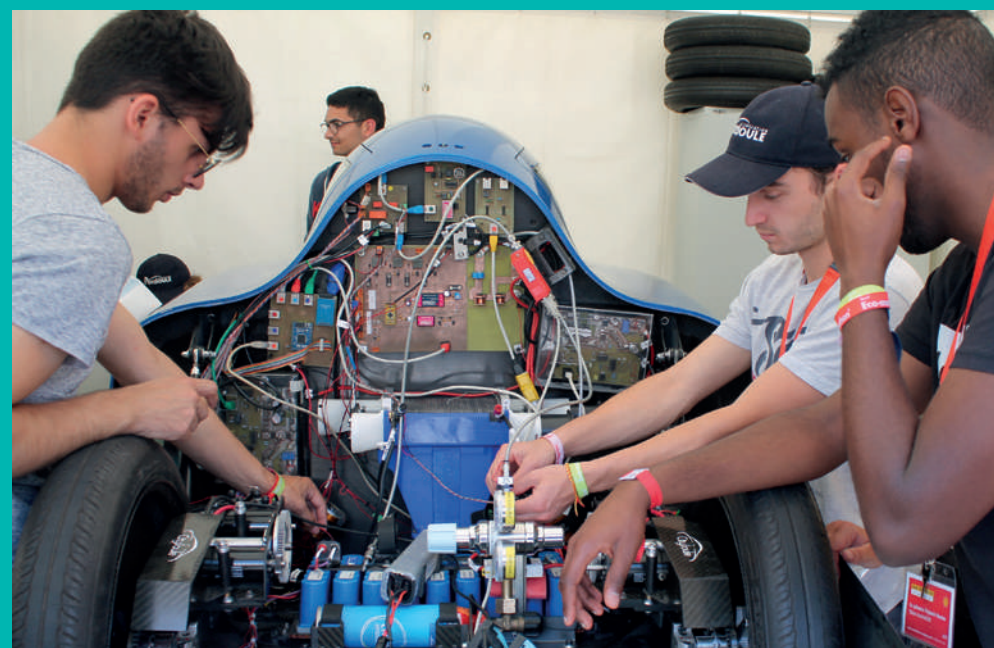
## Avec le projet Polyjoule, les étudiants nantais montent sur le podium

Depuis une quinzaine d'années, les étudiants de 2e et 3e année de Polytech Nantes et ceux du lycée professionnel de la Joliverie, à Saint-Sébastien-sur-Loire, participent au projet pédagogique Polyjoule. Il s'agit de mettre au point un véhicule le plus économe en énergie et de le faire rouler le plus longtemps possible, dans le cadre du Shell Eco Marathon, une compétition réalisée à l'échelle européenne.

Polytech Nantes a participé à la catégorie prototypes de 2005 à 2012, et il a remporté l'épreuve en étant très au-delà de la concurrence, avec un très bon prototype développé par le lycée de la Joliverie propulsé par une pile à combustible. *« À partir de 2013, nous nous sommes lancés dans la catégorie « urban concept », qui réunit des véhicules qui ressemblent davantage à une petite voiture urbaine, avec un pilote assis, deux portes, etc. Ce challenge permet de former des élèves ingénieurs, c'est un défi très motivant »,* souligne Bruno Auvity, qui les accompagne.

Depuis trois ans, les équipes nantaises cherchent à réaliser leur PAC de manière autonome. *« C'est un vrai challenge, nous la concevons en interne et avec des partenaires. Nous collaborons ainsi avec Hycco, une jeune entreprise d'Albi qui développe un process innovant de mise en forme de plaques composites conductrices. Ces plaques seront insérées dans la nouvelle génération de stack que nous développons dans le cadre du projet de véhicule prototype Polyjoule/Cityjoule »* détaille Bruno Auvity.

Le Shell Eco Marathon reflète bien la diversification des sources d'énergies en cours. Alors que les performances des véhicules thermiques ont tendance à stagner, celles des véhicules électriques et hydrogènes augmentent. En phase avec les préoccupations sociétales actuelles.





# L'hydrogène, une énergie récalcitrante

Le Centre François Viète, à Nantes, est un laboratoire d'épistémologie et d'histoire des sciences et techniques. Son directeur Pierre Teissier s'intéresse de longue date à l'hydrogène, reflet de son époque. Un regard distancié et stimulant !

*Pierre Teissier, enseignant-chercheur au Centre François Viète d'épistémologie et d'histoire des sciences et techniques (CFV).*



Pierre Teissier a la sens de la formule. « **L'hydrogène, c'est un objet qu'il est difficile de mettre en boîte !** », lâche l'enseignant-chercheur qui travaille notamment sur la thématique « Energies, techniques et société » au Centre François Viète d'épistémologie et d'histoire des sciences et techniques (CFV). Membre du GIS Perle, le CFV comprend 15 titulaires, dont 13 enseignants-chercheurs et 2 assistantes administratives, une douzaine de doctorants et une quarantaine de chercheurs associés.

« **Nous menons une réflexion sur la manière dont les savoirs et savoir-faire sont construits par et pour une société donnée, et pas seulement par ceux qu'on appelle "les savants"** » indique Pierre Teissier.

## Forces de la nature

À cet égard, l'hydrogène et la pile à combustible se révèlent être de passionnants objets de recherches. Cette fameuse « pile à gaz », comme on disait au 19e siècle, n'est pas d'un maniement très aisé : elle fume, goutte, dégage de nombreux sous-produits qui compliquent sa mise en oeuvre. Elle fascine d'ailleurs les savants et ingénieurs de la révolution industrielle, qui recherchent de nouvelles sources d'énergie et s'interrogent sur les forces de la nature.

Pour reprendre l'expression forgée par le sociologue et philosophe Bruno Latour, l'hydrogène appartient sans conteste à la catégorie des « innovations récalcitrantes », dans la mesure où sa mise en oeuvre se heurte à de nombreuses difficultés, notamment économiques.



**1783**  
Vol d'un ballon gonflé à l'hydrogène



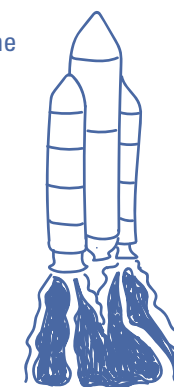
**1839**  
Découverte du principe de la pile à combustible

**1993**  
1<sup>er</sup> bus à hydrogène à Vancouver

Quelques applications de l'hydrogène à travers l'histoire  
▷ [www.afhypac.org](http://www.afhypac.org)

**1807**  
1<sup>er</sup> brevet du 1<sup>er</sup> moteur dit « à explosion » fonctionnant avec l'hydrogène

**1968**  
Moteur fusée à hydrogène « Ariane »



## Question politique

« **L'historien passe toujours par le recul du temps long. Il faut se souvenir que le premier gros projet industriel de la pile à combustible, c'est la guerre froide et la conquête de l'espace. La Nasa a consacré d'importants moyens afin de la domestiquer pour assurer l'alimentation électrique des navettes spatiales, dans le cadre du programme Apollo vers la Lune** », rappelle Pierre Teissier. L'hydrogène ressemble aujourd'hui à ce que fut le nucléaire en France dans les années 70 : une question éminemment politique, couplant des usages sociaux (mobilité) et des systèmes de flux (énergétiques, financiers, matériels) à l'échelle industrielle.

## Enjeu de société

« **En tant qu'épistémologue, je pense que sur l'hydrogène, comme sur les autres énergies naturelles, il faut une organisation interdisciplinaire, accepter de ne pas être d'accord. C'est ce que nous faisons au sein du GIS Perle, en croisant les savoirs et les disciplines** »,

apprécie-t-il. Une démarche rendue plus indispensable encore à l'heure où les pouvoirs publics français et européens consacrent de très importants moyens financiers à la recherche dans ce domaine. Ses travaux actuels portent sur la question du stockage de l'énergie sur la période 1870 - 2020 et recouvrent donc un enjeu de société essentiel. Mais Pierre Teissier ne manque pas de rappeler que, loin d'être « la pierre philosophale » rêvée par certains, l'hydrogène ne se plie pas facilement aux applications qu'on lui promet depuis 150 ans ! Qu'en est-il, d'autre part, des déchets de cette filière industrielle ? De quoi faire preuve d'humilité. Sans renoncer, pour autant, à faire avancer les connaissances techno-scientifiques. Sans oublier, non plus, de les inscrire dans une réalité sociale, parfois contradictoire. ■

L'écosystème nantais de l'hydrogène se compose de nombreux acteurs publics et privés dont plusieurs figurent dans ce dossier. Voici quelques coordonnées et liens utiles pour approfondir ce sujet en évolution permanente.



**GIS Perle** (Pôle d'excellence de recherche ligérienne en énergie)

Groupement d'intérêt scientifique qui regroupe tous les laboratoires ligériens qui travaillent sur l'énergie, et notamment l'hydrogène.

**CONTACT**

**Florence Paumier,**  
Ingénieure filière Énergie  
à l'Université de Nantes,  
animatrice du GIS :  
[florence.paumier@univ-nantes.fr](mailto:florence.paumier@univ-nantes.fr)

**Fédération de recherche Hydrogène** (FRH2)

Cette entité du CNRS regroupe 28 laboratoires et plus de 270 chercheurs permanents. Elle est dirigée par le Nantais Olivier Joubert, également responsable de l'équipe ST2E « Stockage et Transformation Electrochimiques de l'Énergie » de l'Institut des Matériaux Jean Rouxel de Nantes (IMN) qui rassemble 40 chercheurs travaillant dans la recherche de nouveaux matériaux pour les batteries, supercondensateurs, piles à combustibles et électrolyseurs.

**CONTACT**

<https://frh2.cnrs.fr/>,  
[www.cnrs-imn.fr](http://www.cnrs-imn.fr),  
[olivier.joubert@univ-nantes.fr](mailto:olivier.joubert@univ-nantes.fr)

**Laboratoire de Thermique et Énergie de Nantes** (LTEN)

Les recherches sur l'hydrogène sont portées par Bruno Auvity et Christophe Josset, de l'équipe TFSE : Transferts dans les Fluides et Systèmes Energétiques. Ils étudient la pile à combustible (type PEMFC : basse température, usage mobile) de l'échelle du composant jusqu'au système énergétique auquel elle appartient, dans un objectif d'amélioration des performances. Il encadre également le challenge étudiant Polyjoule.

**CONTACT**

[bruno.auvity@univ-nantes.fr](mailto:bruno.auvity@univ-nantes.fr),  
[polyjoule@univ-nantes.fr](mailto:polyjoule@univ-nantes.fr)

**Centre François Viète** (CFV)

Pierre Teissier, le directeur de ce laboratoire d'épistémologie et d'histoire des sciences et techniques, travaille notamment sur la thématique « Énergies, techniques et société ».

**CONTACT**

[pierre.teissier@univ-nantes.fr](mailto:pierre.teissier@univ-nantes.fr)

**CCI des Pays de Loire**

Philippe Jan, directeur général adjoint et directeur du développement des entreprises et des territoires, travaille depuis longtemps sur le sujet de l'hydrogène, en lien avec les centres de recherches et les entreprises.

**CONTACT**

[Philippe.JAN@paysdelaloire.cci.fr](mailto:Philippe.JAN@paysdelaloire.cci.fr)

