

Énergies renouvelables | Hydrogène

HYDROGÈNE

NOS SOLUTIONS

- L'hydrogène naturel
- La production d'hydrogène
- Le transport et le stockage de l'hydrogène
- La conversion et l'utilisation de l'hydrogène en mobilité

L'HYDROGENE NATUREL : CONNAISSANCE ET QUANTIFICATION DES RESSOURCES D'HYDROGENE

Il est aujourd'hui établi que l'hydrogène moléculaire (H_2) existe sur la planète à l'état naturel sous la forme d'émanations diffuses ou continues. Dès 2008, IFPEN a étudié ce type d'émanation de gaz en différents endroits à la surface de la terre afin d'évaluer ces ressources. Ces travaux ont permis de révéler que **l'H_2 naturel se rencontrait de manière préférentielle dans plusieurs types d'environnements géologiques**.

Les travaux menés aujourd'hui à IFPEN visent à développer les connaissances permettant de répondre aux questions d'origine et de mécanismes de formation, de consommation lors de la migration vers la surface, et à développer les outils de d'exploration géologique afin d'être en mesure de **proposer aux industriels des méthodes de quantification des ressources et des réserves potentielles**.

Lire notre avis d'expert sur l'hydrogène naturel

LA PRODUCTION D'HYDROGÈNE

IFPEN prend part à la mise au point **de différentes technologies de production d'hydrogène renouvelable ou bas-carbone** au travers de ses compétences ou des travaux menés au sein de divers projets collaboratifs et de partenariats.

Décarboner l'hydrogène par captage de CO_2

La production d'hydrogène est assurée aujourd'hui à 95 % via la transformation des hydrocarbures par reformage ou gazéification. Associé à des techniques de captage et de stockage géologique du CO_2, cet hydrogène peut devenir « décarboné ». Positionné sur l'ensemble de la chaîne de valeur du CCUS, IFPEN travaille avec AXENS ainsi que d'autres industriels au développement de procédés de captage innovants (en post et en oxycombustion) et économiquement viables applicables aux procédés industriels.

IFPEN travaille également sur le développement de technologies, comme celle mise en œuvre dans BioTfueL®, permettant de produire de l'hydrogène bas carbone à partir des gaz de synthèse, en sortie de reformage à la vapeur d'eau ou de gazéification de biomasse, par captage de CO_2 via un procédé aux amines.

Un nouvel électrocatalyseur économique et efficace pour la production d'hydrogène renouvelable

IFPEN participe au projet collaboratif MoSHy qui, en couplant expérimentation et modélisations moléculaires, vise à **remplacer les électrocatalyseurs à base de platine dans les technologies PEM (Proton Exchange Membrane)** récemment industrialisées pour la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau.

LE TRANSPORT ET LE STOCKAGE DE L'HYDROGÈNE

Si le gaz hydrogène renouvelable ou bas-carbone produit peut être valorisé directement sur son lieu de production ou stocké pour être reconverti ultérieurement en électricité, il peut aussi être **injecté dans le réseau de distribution de gaz naturel**. Dans le cadre de ses travaux sur la corrosion et le CCUS, mais également de sa participation à un consortium de recherche sur la thématique de l'hydrogène, IFPEN a développé des compétences propres à résoudre différentes problématiques associées à son stockage et son transport.

Tenue des matériaux en présence d'hydrogène

La quantité d'hydrogène injectable est limitée pour plusieurs raisons : la molécule de dihydrogène est de petite taille, très inflammable (plus que le gaz), et **réputée corrosive sur les matériaux métalliques**, l'acier en particulier, constituant de la majeure partie du réseau de transport de gaz naturel. Les risques de fuites et la durabilité des matériaux posent donc des questions cruciales de sécurité au transporteur, et constituent un verrou de taille au déploiement de l'hydrogène sur lequel travaillent les équipes d'IFPEN et leurs partenaires. Une partie des travaux porte sur la corrosion en environnement aqueux et en présence de gaz corrosifs tels que l'hydrogène.

Les études, réalisées dans des environnements sévères, à hautes pressions et hautes températures, font également appel à la modélisation **pour mieux comprendre les mécanismes physico-chimiques et prédire**, à long terme, les cinétiques de corrosion.

Stockage en cavité saline ou milieux poreux

L'accroissement de la part de production d'électricité éolienne et photovoltaïque non pilotable impose de développer des solutions de stockage d'énergie. Le stockage massif d'hydrogène, aujourd'hui principalement en cavités salines, peut ainsi contribuer aux régulations saisonnières nécessaires.

Les savoir-faire et outils IFPEN développés pour le CCUS ou l'exploration/production des hydrocarbures peuvent, moyennant adaptation, répondre aux problématiques posées par le stockage de l'hydrogène dans le sous-sol. Ils permettent notamment de :

- modéliser la tenue mécanique des stockages, modéliser le comportement des réservoirs : le logiciel COORES Flow, permet de simuler en 3D les écoulements de fluides, le transport des espèces chimiques via ces fluides, ainsi que les interactions entre la roche et les fluides ;
- mieux comprendre les mécanismes régissant la mobilité et la réactivité du dihydrogène (H2) dans les formations géologiques.

Surveillance des stockages

Les travaux d'IFPEN concernent le développement de la Flair Suite, un ensemble de solutions permettant la surveillance des gaz des sites industriels dans l'atmosphère et au sol. Ces outils permettent **de détecter au plus tôt d'éventuelles fuites sur les sites de stockage** de gaz ou les réseaux de distribution et de remonter à la source du panache. Ils permettent de détecter et de mesurer une large gamme de gaz, notamment le méthane, le CO_2 ou l'hydrogène.

LA CONVERSION ET L'UTILISATION DE L'HYDROGÈNE EN MOBILITÉ

Par rapport à l'électricité, l'hydrogène est un moyen d'accroître l'autonomie des véhicules, de réduire le volume et la masse du stockage d'énergie embarqué et d'avoir une recharge rapide et efficiente, surtout pour les applications de transports de marchandise longue distance sur routes, rails ou fleuves, de camions urbains, d'engins non routiers ou encore de transport intensif de passagers (bus, taxi).

IFPEN travaille à différentes solutions permettant d'utiliser l'hydrogène renouvelable ou bas carbone afin de **réduire l'impact environnemental de la mobilité** :

- hydrogène **alimentant une pile à combustible** générant de l'électricité embarquée pour les véhicules électriques,
- hydrogène utilisé **comme carburant** dans un moteur à combustion interne,
- intégration d'hydrogène décarboné dans la production de biocarburants avancés, **sous forme d'e-biofuels utilisables** par les transports lourds (terrestre ou maritime), l'off-road et le secteur aérien.

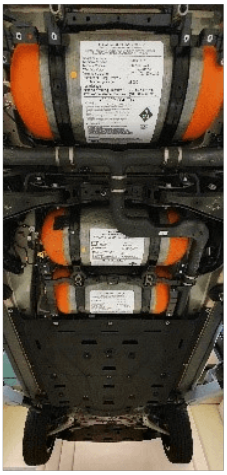
La pile à combustible (PaC) pour les véhicules électriques

Pour la propulsion électrique, la pile à combustible constitue **une alternative aux batteries**, dont l'intérêt principal par rapport à ces dernières consiste en **sa plus forte densité énergétique de stockage** associé **à un temps de recharge beaucoup plus rapide**.

IFPEN et ses partenaires travaillent sur une approche du système PaC dans l'environnement véhicule et notamment sur **l'optimisation de la gestion de l'énergie du système et la réduction des coûts** en se basant notamment sur des moyens numériques et expérimentaux uniques.

Plus spécifiquement, les travaux d'IFPEN portent sur différents aspects :
- **Les méthodologies de caractérisation fine du fonctionnement sur véhicules en laboratoire** (banc à rouleaux). Une campagne d'essais a notamment permis de mettre au point une méthodologie dédiée permettant de connaitre la consommation d'hydrogène en l'absence de mesure directe du débit et ainsi d'en déduire précisément le rendement de la PaC.
- **La caractérisation de systèmes PaC sur banc d'essais dédié** : IFPEN est doté d'un banc d'une puissance de 210 kW. Avec cet outil d'expérimentation, unique en France, IFPEN souhaite accélérer ses recherches sur l'utilisation des piles à combustible alimentées à l'hydrogène dans les véhicules électrifiés, notamment pour le transport routier lourd (bus, camion) et ferroviaire.
- **Le contrôle commande et l'électronique de puissance spécifiques à ce type de système**
- **La modélisation**, avec notamment la mise au point de modèles de vieillissement du système. Cette connaissance est importante dans la mesure où le vieillissement du système a des impacts sur le rendement, l'autonomie et le refroidissement du véhicule ainsi que sur son coût total de possession. Dans ce domaine IFPEN dispose d'un savoir-faire reconnu et des discussions sont en cours avec un partenaire industriel afin de co-développer des librairies spécifiques.
- **La caractérisation d'organes du système global** comme les e-compresseurs par exemple, permettant d'optimiser les systèmes PaC sur des moyens d'essais dédiés.
- **L'analyse économique et de cycle de vie de la filière hydrogène**. Sont notamment en cours des calculs de prix de revient sur l'ensemble de la vie du véhicule afin d'éclairer les choix des gestionnaires de flottes. L'évaluation de l'impact environnemental global de ces véhicules est également en cours.





Véhicule PaC au banc à rouleaux / réservoirs véhicule PaC

Une collaboration d'envergure a démarré mi-2023 avec la PME INOCEL pour le développement industriel de leur PàC haute puissance (300kW).
> En savoir plus

Le moteur thermique à hydrogène

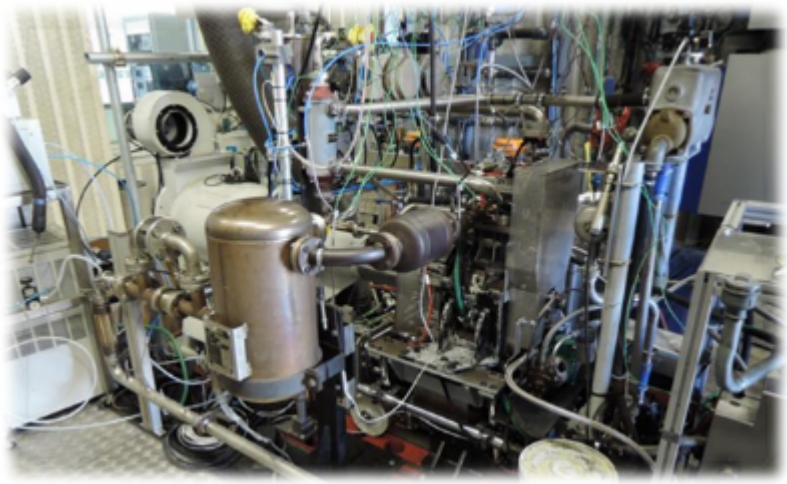
La conversion de l'hydrogène en travail décarboné peut venir de **la combustion directe de l'hydrogène dans un moteur thermique**. Cette solution permet d'accélérer le déploiement à court/moyen terme d'une mobilité sans émission de CO2 et à moindre coût.

IFPEN travaille ainsi à **optimiser son système de combustion** afin d'en maximiser le rendement et d'atteindre des émissions d'oxydes d'azote quasi-nulles. Il s'appuie pour cela notamment sur ses outils développés en collaboration avec Siemens Digital Industry Software en simulation système et avec Convergent Science Inc. (CSI) en modélisation 3D. De plus, IFPEN dispose de moyens spécifiques tels qu'**un banc de diagnostic optique permettant de visualiser l'injection d'hydrogène** ou encore **différents bancs d'essais moteurs** : l'un, monocylindre ou multi cylindre, pour véhicules légers et deux autres pour poids lourds, l'un monocylindre, l'autre multicylindre.

Les différents sujets sont abordés le plus souvent **en partenariat avec des acteurs industriels** par exemple dans le cadre d'un consortium dans le domaine du poids lourd.

Les travaux en cours portent en particulier sur **l'optimisation et le design des systèmes de combustion hydrogène** : l'optimisation de l'homogénéisation du mélange hydrogène – air et la maitrise des points chauds pour éviter les combustions anormales de type pré-allumage, ou encore le niveau de turbulence et de richesse du mélange pour atteindre de très hauts rendements proches des 50 % sans émissions significatives de polluants. Les résultats obtenus confirment le potentiel de cette solution technologique.

En parallèle, IFPEN est également impliqué dans les domaines technologiques suivants :
- **Le design de la boucle d'air du moteur** et en particulier le système de suralimentation, en s'appuyant notamment sur les outils de simulation système.
- **Le contrôle des émissions de NOx**, à la fois par systèmes de post-traitement des gaz d'échappement (SCR) et par les technologies d'injection d'eau en amont de la combustion.
- **La compatibilité des matériaux** du moteur avec l'hydrogène.
- **Les propriétés des lubrifiants** et la maitrise de leur impact potentiel sur les émissions de particules.
- **L'analyse du cycle de vie** et le calcul de prix de revient des véhicules.



Banc H2 monocylindre véhicule léger

Les carburants de synthèse e-biofuels

Les **e-fuels**, carburants de synthèse fabriqués à partir d'électricité « verte », regroupent différents produits. Certains sont issus d'une **synthèse Fischer-Tropsch** alimentée par de l'hydrogène vert. IFPEN travaille sur ce procédé et sur les catalyseurs associés, en particulier pour la production de biocarburants.

CONTACTS



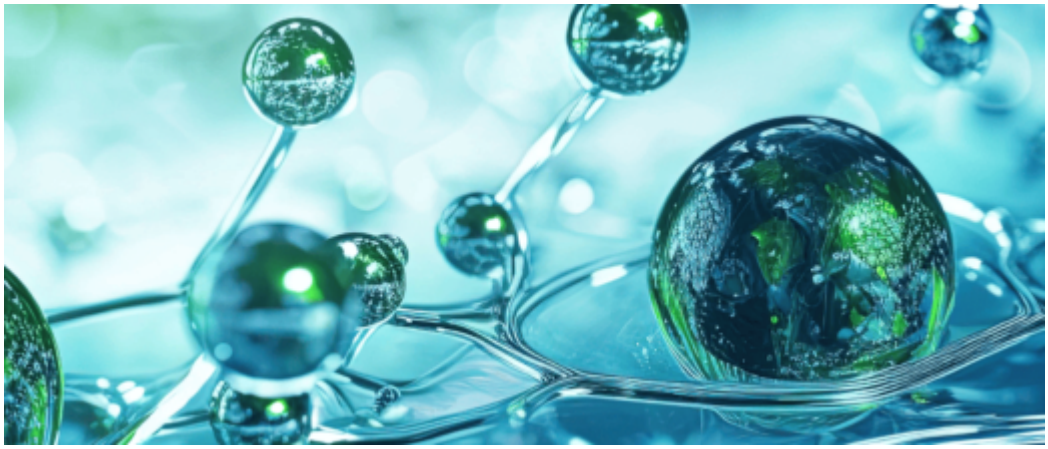
Jean-Philippe Héraud
Introduction d'hydrogène vert dans les raffineries
jean-philippe.heraud@ifpen.fr



Yannick Peysson
Transport et stockage d'hydrogène
yannick.peysson@ifpen.fr



Richard Tilagone
Propulsion hydrogène et bas carbone
richard.tilagone@ifpen.fr



IFPEN
Actualités avril 2024

Cap sur l’hydrogène naturel : l’AIE et la DGEC confient les rênes à IFPEN



Formation et carrières
Actualités janvier 2024

IFP School lance un programme Mastère Spécialisé® dédié à l’hydrogène

Communiqués de presse

Hydrogène



Recherche fondamentale

Actualités septembre 2023

Hydrogène par électrolyse de l’eau : le platine est-il irremplaçable pour le procédé PEM ?

Hydrogène

Science des surfaces, des interfaces et des matériaux

Hydrogène : Nos solutions

Lien vers la page web :