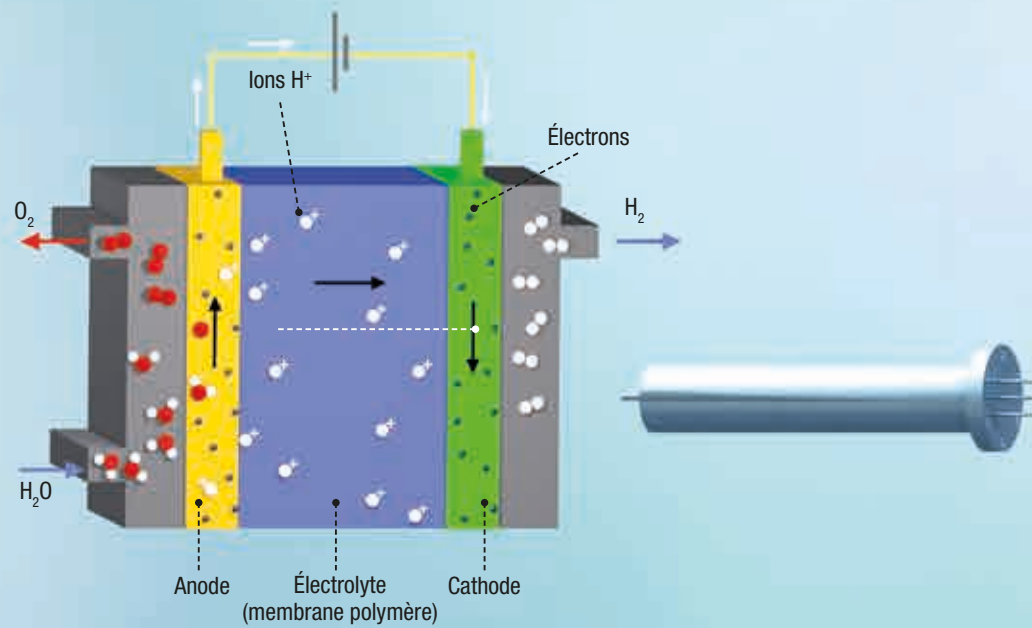
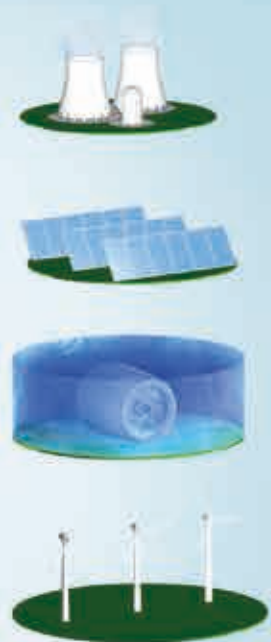


Le vecteur hydrogène

PRINCIPE

Un des moyens de production de l'hydrogène à partir d'énergie nucléaire ou renouvelable est l'électrolyse. Une fois le gaz produit, il peut être directement utilisé ou bien stocké et converti de nouveau en électricité, par une pile à combustible, pour de multiples usages. Exemple avec l'électrolyse basse température à membrane polymère échangeuse de protons (PEM) et la pile à combustible PEM.



Usages directs

Injection dans le réseau de gaz naturel.



Combinaison avec du CO₂ industriel pour le revaloriser en formant du méthane et des biocarburants (*power to hydrocarbure*). $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

À SAVOIR

La pile à combustible fonctionne selon le principe inverse de l'électrolyse. L'anode est l'électrode où a toujours lieu « l'oxydation » (réaction dans laquelle un atome ou un ion perd des électrons). La cathode est toujours le siège de la « réduction » (réaction dans laquelle un atome ou un ion gagne des électrons).

Usages indirects



Injection dans le réseau électrique (*power to power*).



Utilisation pour la mobilité électrique (*power to mobility*).

Source d'électricité

Renouvelables (solaire, éolien, hydraulique ou énergies marines) ou nucléaire, plusieurs sources d'électricité peuvent être utilisées pour une production décarbonée d'hydrogène. Pour cela, le courant issu d'une centrale est injecté dans un électrolyseur.

Électrolyse : de l'électricité à l'hydrogène

Dans un électrolyseur basse température PEM, le courant continu qui traverse les cellules permet de décomposer les molécules d'eau (H₂O) en ions hydrogène (H⁺) et oxygène (O₂).
 $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$: à l'anode, où se déroule l'oxydation de l'eau, du dioxygène est produit sous l'effet du courant ainsi que des ions H⁺ qui traversent ensuite la membrane électrolyte.
 $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$: à la cathode les ions H⁺ se recombient et forment du dihydrogène H₂ qui peut ainsi être récupéré.

Stockage

L'hydrogène produit est conditionné dans un réservoir selon différentes technologies fonction des applications (stationnaires ou embarquées). Parmi elles, le stockage gazeux sous pression (de quelques bars à 700 bars) et le stockage solide où l'hydrogène est absorbé par des matériaux métalliques placés dans le réservoir. La désorption de l'hydrogène des hydrures se fait ensuite par un apport de chaleur.

Conversion : de l'hydrogène à l'électricité

Dans une pile à combustible basse température à membrane échangeuse de protons, il se produit la réaction inverse de l'électrolyse PEM.
 $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$: l'hydrogène stocké est injecté à l'anode de la pile à combustible. Là, les molécules H₂ se dissocient en ions H⁺ qui migrent vers l'électrolyte et en électrons qui sont contraints de circuler dans un circuit qui génère un courant et donc de l'électricité.

$\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$: à la cathode, ces électrons se recombient avec les ions H⁺ et les molécules O₂ (issues de l'air ambiant) pour former de l'eau H₂O, unique « déchet » de cette réaction qui produit également de la chaleur.



Production de chaleur par cogénération.

TOUT
S'EXPLIQUE



DÉFIS

Améliorer les rendements des dispositifs de la filière hydrogène, optimiser leur durée de vie et réduire leurs coûts. Et ce, grâce à des innovations sur des matériaux et composants plus résistants, des technologies toujours plus performantes, durables, sûres et respectant l'environnement.

De la recherche...

Pour mener à bien ses projets, le CEA mobilise des compétences en matériaux, procédés haute température et haute pression, intégration de systèmes.

Par exemple, l'un des enjeux est la réduction, voire la substitution, du platine utilisé comme catalyseur au cœur des piles à combustibles. Ce métal est en effet trop cher et trop rare pour satisfaire des besoins massifs. À travers le projet Rosace, les scientifiques développent des matériaux alternatifs basés soit sur les nanotubes de carbone (CEA-Iramis), soit sur le graphène (CEA-Inac). D'autres pistes privilégient l'utilisation du nickel ou du fer

en s'inspirant de processus chimiques à l'œuvre dans les organismes vivants, comme les systèmes enzymatiques appelés hydrogénases (CEA-IRTSV).

Par ailleurs, le CEA-Liten et le CEA-DAM développent actuellement un système de stockage hybride haute pression/hydrure.

Concernant la production d'hydrogène, un électrolyseur haute température de rendement atteignant 99 % a vu le jour en 2014. Baptisé Sydney, il a la particularité d'être réversible. Une avancée aux nombreuses applications.

...à l'industrie

L'enjeu des recherches et de transférer des technologies au stade préindustriel, en vue de leur production de masse. Pour ce faire, le CEA dispose de plateformes technologiques à disposition de ses nombreux partenaires industriels : plateforme « Hydrogène », « Pile à combustible », « Nanocaractérisation » à Grenoble, plateforme « Lavoisier » à Tours. De plus, son expertise en technico-économie permet de valider la rentabilité et l'adéquation de ses technologies avec les besoins du marché.

Exemples de démonstrateurs industriels

- Pile à combustible Genepac (PSA Peugeot Citroën, 2006).
- Véhicule 307cc FISYPAC intégrant une pile Genepac (PSA Peugeot Citroën, 2009).
- Réservoir de stockage hydrure (McpHy Energy, 2010-2011).
- Plateforme Myrte (Université de Corse et Hélios, 2012).
- Véhicules HyKangoo du projet HyWay intégrant une PAC développée par le CEA (SymbioFCCell, 2014).

les défis 201
du cea

TOUT
S'EXPLIQUE



Le vecteur hydrogène

Stockage de l'énergie, injection d'électricité supplémentaire dans le réseau, prolongation d'autonomie pour les véhicules électriques, fabrication de méthane... L'hydrogène est un gaz multifacettes qui fait de lui un vecteur énergétique très efficace. Bien que très abondant dans l'eau ou dans les hydrocarbures, l'hydrogène est absent à l'état naturel en France. Aussi, doit-il être produit, soit par vaporeformage, soit à par électrolyse.

ENJEU SOCIÉTAL

Accélérer l'essor des énergies renouvelables en palliant leur intermittence; contribuer à la décentralisation de la production d'électricité tout en équilibrant l'offre et la demande; ou encore participer au déploiement de la mobilité durable. À n'en pas douter l'hydrogène est un allié essentiel de la transition énergétique qui se

joue actuellement. Et il peut compter sur le CEA pour l'émergence de sa filière, notamment sur des marchés de niches. Ses équipes du CEA-Liten et du CEA-DAM se positionnent en effet à tous les niveaux de développements: électrolyseur pour la production d'hydrogène, réservoir pour son stockage, pile à combustible pour sa restitution en électricité.