

L'hydrogène énergie

Une exposition-atelier du Palais de la Découverte

du 15 octobre au 30 novembre 2011

*L'exposition-atelier **L'hydrogène énergie** invite les visiteurs à découvrir le fonctionnement d'une pile à combustible et à comprendre pourquoi l'hydrogène est régulièrement présenté comme la solution énergétique du futur.*

En complément de cette exposition, le journal de l'exposition vous propose de revenir sur ces propriétés exceptionnelles qui font de l'hydrogène un vecteur d'énergie propre et inépuisable, mais également sur les nombreux obstacles qui demeurent avant qu'il n'entre réellement dans notre vie quotidienne.

L'énergie

La notion d'énergie est difficile à définir. En effet, parmi les propriétés de la matière, l'énergie en constitue l'une des plus abstraites : bien qu'omniprésente, elle ne se voit pas, ne pèse pas, n'a ni goût, ni odeur... En fait son existence ne se laisse saisir qu'à travers ses effets. Pour simplifier, il est possible de dire que l'énergie mesure la capacité de quelque chose à fournir du « travail » : bouger, grandir, produire de la lumière, de la chaleur, des sons, faire tourner une roue, etc.

L'énergie sous différentes formes

L'énergie est le moteur du monde. Elle se manifeste partout dans notre environnement, à chaque instant, et peut prendre différentes formes : mécanique (celle des moteurs, des muscles), calorifique (celle de la chaleur, de la cuisson), cinétique (celle de la voiture, du vent),

chimique (celle de la nourriture, des carburants), nucléaire (celle des étoiles, des centrales nucléaires), etc. Il est possible de passer d'une forme à l'autre. Par exemple l'énergie chimique de nos cellules est transformée par nos muscles en énergie mécanique qui produit un mouvement.

Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme !

Si l'énergie peut-être transformée, elle ne peut ni être créée, ni disparaître. C'est le premier grand principe de la thermodynamique. Ainsi, lorsque l'énergie passe d'une forme à une autre, le bilan est toujours exactement équilibré. Cependant, toute transformation d'énergie est accompagnée d'une dissipation d'énergie, généralement sous forme de chaleur. C'est le second principe : l'énergie initiale est dégradée et la mesure de la nouvelle forme d'énergie produite, comparée à l'énergie originelle, est communément appelée le rendement.

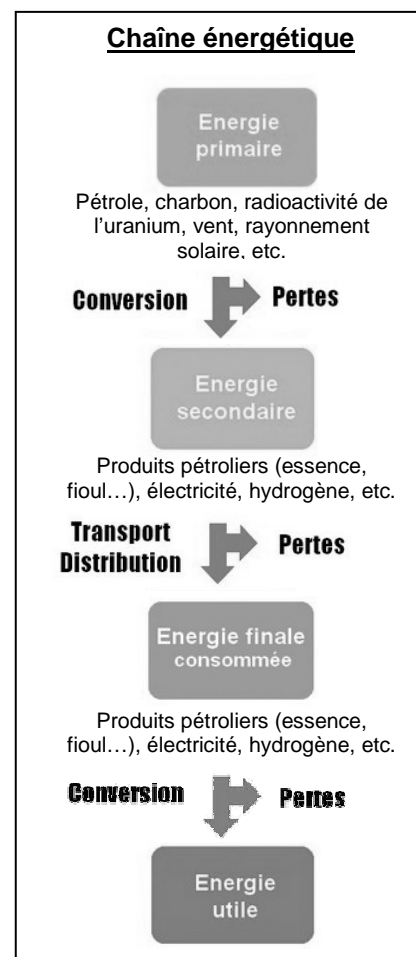
Chaîne énergétique

L'énergie utilisée pour éclairer une pièce ou se déplacer en voiture représente en fait l'aboutissement d'un ensemble de processus complexes appelés « chaîne énergétique ». Au sein de celle-ci quatre types d'énergie peuvent être distingués :

- L'énergie primaire : il s'agit de la source d'énergie présente dans la nature et qu'il est possible d'exploiter. Elle peut être classée

en trois grandes familles : fossile, renouvelable ou nucléaire.

- L'énergie secondaire ou vecteur énergétique : issue de la transformation de l'énergie primaire elle peut être stockée et transportée.
- L'énergie finale : issue de la transformation de l'énergie secondaire, elle est transportée aux utilisateurs qui la consomment.
- L'énergie utile : elle correspond à l'usage final : chauffer, éclairer, etc.



Des problèmes à l'horizon

Dans les pays développés, les usages de l'énergie se sont diversifiés pour satisfaire des besoins de plus en plus variés et de moins en moins vitaux. Ainsi, la consommation d'énergie mondiale a été multipliée par cinq entre 1 800 et 1 900, puis par dix entre 1 900 et 2 000. À ce rythme, à la fin du XXI^e s., elle sera sept fois plus importante qu'aujourd'hui.

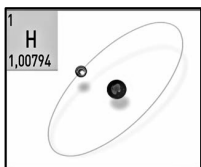
Le système énergétique actuel, dominé par les énergies fossiles (pétrole, gaz et charbon), est confronté à deux problèmes. D'une part, l'épuisement progressif des réserves naturelles va rendre ces énergies de plus en plus rares et de plus en plus chères. D'autre part, ces dernières émettent du gaz carbonique en brûlant, contribuant ainsi à l'accroissement de l'effet de serre et au réchauffement climatique de la planète. Il est donc aujourd'hui nécessaire de réagir en diminuant la dépendance vis-à-vis des énergies fossiles et en exploitant des énergies qui n'émettent pas de CO₂.

Dans ce contexte, l'hydrogène apparaît comme une solution prometteuse.

L'hydrogène, vecteur énergétique du futur ?

Premier de la classe

De tous les atomes, l'hydrogène est le plus petit et le plus léger, car il est aussi le plus simple. Il ne se compose en effet que d'un électron, circulant autour d'un noyau composé d'un unique proton.



A la première place

Dans le tableau périodique des éléments de Mendeleïev, l'hydrogène occupe la première place.

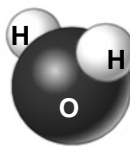
Chronologiquement, l'hydrogène est l'ancêtre de tous les autres éléments. Présents dès les premiers instants de l'univers, les noyaux d'hydrogène ont ensuite fusionné pour donner naissance à des noyaux plus lourds et plus complexes.

Sous sa forme pure, le gaz d'hydrogène ne se présente pas comme une multitude d'atomes individuels H, mais comme un ensemble de paires H₂, des molécules de dihydrogène.

En toute rigueur il faudrait donc parler de gaz de dihydrogène. Néanmoins, pour simplifier les choses, c'est toujours d'hydrogène dont il est question.

Présent de partout mais jamais seul

La première vertu de l'hydrogène est son abondance. Il s'agit en effet de l'élément le plus répandu de l'univers, puisqu'il représente environ 75% de la masse visible du cosmos. C'est également l'élément le plus abondant sur notre planète. Mais s'il est omniprésent sur Terre, il n'existe pratiquement pas à l'état pur. Les atomes d'hydrogène se combinent en effet toujours à un autre atome. L'eau, les hydrocarbures et la biomasse contiennent ainsi de l'hydrogène. Cependant, pour pouvoir utiliser celui-ci, il faut d'abord l'extraire de ces composés.



Molécule d'eau

Chaque molécule d'eau (H₂O) est le fruit de la combinaison d'un atome d'oxygène (O) et de deux atomes d'hydrogène (H).

Atouts et inconvénients

Le véritable avantage de l'hydrogène, c'est qu'il est particulièrement énergétique. A masse égale, il libère environ trois fois plus d'énergie que l'essence. Par ailleurs, les technologies utilisant de l'hydrogène produisent de la chaleur et de l'eau, mais n'émettent pas de CO₂, ce qui représente un atout considérable à l'heure du réchauffement climatique.

Cependant, l'hydrogène présente également des inconvénients. Tout d'abord, sous sa forme gazeuse, il est très volumineux, ce qui le rend difficile à transporter et à stocker. Par exemple, pour obtenir la valeur énergétique de 10L d'essence, il faut un volume d'hydrogène de 16m³!

En comprimant l'hydrogène à environ 700 ou 800 fois la pression atmosphérique, ou en le liquéfiant à -253°C il serait possible de le faire rentrer dans un réservoir de volume raisonnable, cependant cela pose un certain nombre de problèmes techniques.

En outre, comme tout vecteur qui stocke de l'énergie, l'hydrogène présente bien évidemment un risque dû à son pouvoir explosif potentiel au contact de l'air. Ainsi, si la concentration d'hydrogène dans l'air est trop importante, le risque d'explosion par combustion devient élevé. Mais à condition d'être manipulé avec précaution, il n'est pas plus dangereux que l'essence ou le gaz naturel. De plus, la petitesse de ses molécules lui permet de diffuser très rapidement dans l'air (quatre fois plus vite que le gaz naturel), ce qui est un facteur positif pour la sécurité.

Associé à plusieurs accidents qui ont marqué les esprits et qui lui ont construit une mauvaise réputation, l'hydrogène souffre d'une image de gaz dangereux et son degré d'acceptabilité est encore faible.



L'accident de l'Hindenburg

En 1937, un dirigeable allemand gonflé à l'hydrogène prend feu après avoir été frappé par la foudre. Il fut prouvé par la suite que l'hydrogène n'était pas à l'origine de l'accident.

L'hydrogène, quelles applications ?

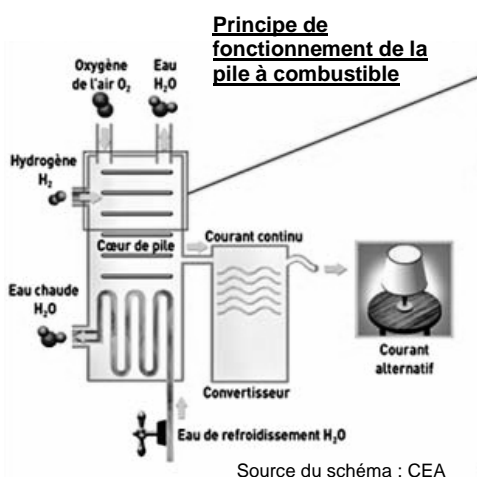
L'hydrogène peut être utilisé en tant que carburant, comme c'est déjà le cas dans le domaine spatial où il sert à la propulsion des fusées.

Il peut également être utilisé dans le secteur automobile et alimenter un moteur thermique adapté. Sa combustion ne produit pas de CO₂, cependant elle engendre tout de même des polluants, les oxydes d'azote. De plus, ce type de moteur pose le problème du stockage de l'hydrogène au sein du véhicule. L'hydrogène peut aussi participer à l'alimentation de moteurs classiques au travers de carburants qu'il aura enrichis.

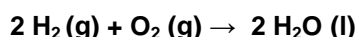
La technologie dans laquelle le recours à l'hydrogène prend tout son sens est celle de la pile à combustible.

La pile à combustible

Celle-ci fonctionne sur le mode inverse de l'électrolyse de l'eau. Tandis que l'électrolyse décompose l'eau en hydrogène et en oxygène sous l'action d'un courant électrique, la pile à combustible recombine l'hydrogène et l'oxygène en créant de la chaleur et un courant électrique, et en rejetant seulement de l'eau.



La réaction bilan de fonctionnement d'une pile à hydrogène (pile à combustible utilisant de l'oxygène et de l'hydrogène) se résume à :



g : gaz
l : liquide

+ production de chaleur et d'un courant électrique



Première pile à combustible

C'est en 1839 que l'anglais William R. Grove met au point la première pile à combustible.

Aujourd'hui, s'il est possible de produire de l'électricité de multiples façons, il n'est pas possible de la stocker efficacement : les batteries, coûteuses, n'offrent qu'une autonomie limitée. Mais l'hydrogène, lui, peut être stocké. Ainsi, avec une réserve d'hydrogène et une pile à combustible, il deviendrait possible de produire de l'électricité n'importe où et n'importe quand, sans être relié au réseau électrique.

Applications et obstacles

Dans le secteur des transports, des véhicules électriques alimentés par une pile à combustible fonctionnant à l'hydrogène pourraient remplacer avantageusement nos véhicules actuels : de nos voitures ne s'échapperait plus que de l'eau. Cela dit, le problème du stockage de l'hydrogène au sein du véhicule se pose également.

Par ailleurs, depuis 1960, la Nasa utilise la pile à combustible pour alimenter ses véhicules spatiaux en électricité (capsules Apollo et Gemini).

À plus petite échelle, la pile à combustible pourrait s'adapter aux appareils portables (téléphones, ordinateurs, etc.). Par rapport au système actuel, elle multiplierait par 5 leur autonomie. Dans les habitations, l'hydrogène pourrait être à la fois source de chaleur et d'électricité. Il permettrait également d'alimenter en électricité les relais isolés qui ne peuvent être raccordés au réseau, en complément des énergies renouvelables.

Cependant, le développement des applications commerciales des piles à combustible rencontre deux obstacles majeurs : d'une part des difficultés d'ordre technologiques (usure des matériaux trop rapide, compacité insuffisante, etc.), et d'autre part des coûts de fabrication élevés.

La filière hydrogène

Du point de vue de son utilisation comme vecteur d'énergie, l'hydrogène présente un certain nombre de qualités : il est très énergétique, abondant, ni toxique, ni polluant. Cependant, il n'existe pas à l'état naturel sous forme moléculaire (H_2) et doit donc être fabriqué. De plus, sa faible densité complique son transport et son stockage. Enfin, il souffre d'une mauvaise image chez le public, particulièrement en France.

Ainsi, avant que l'hydrogène n'entre dans la vie quotidienne, des progrès doivent encore être faits à chaque étape de la filière : production, transport, stockage, utilisation.

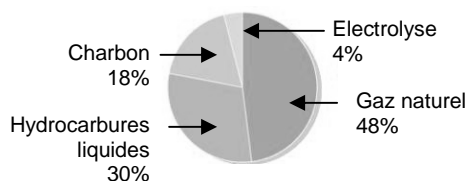
Production

Si l'atome H est partout, la molécule H_2 n'est nulle part. Sa fabrication représente un enjeu important dans l'éventuelle mise en place d'une « économie hydrogène ».

Pour être économiquement et écologiquement viable, cette production doit répondre à trois critères :

- la compétitivité : les coûts de production ne doivent pas être trop élevés ;
- le rendement énergétique : la production d'hydrogène ne doit pas nécessiter trop d'énergie ;
- la propreté : le processus de fabrication doit être non polluant sous peine d'annuler l'un des principaux atouts de l'hydrogène.

Plusieurs méthodes sont aujourd'hui opérationnelles, mais aucune ne répond pour l'instant parfaitement à ces trois critères.



Principales origines de l'hydrogène produit aujourd'hui dans le monde

Actuellement environ 96% de l'hydrogène produit est extrait des hydrocarbures. Ceux-ci permettent une production de masse peu coûteuse, destinée à l'industrie. Cependant un double problème se pose : d'une part on consomme une ressource que l'on voudrait économiser, et d'autre part les différents procédés utilisés libèrent tous du CO_2 .

Une autre façon de fabriquer de l'hydrogène consiste à décomposer la molécule d'eau. Cette solution est la plus intéressante en termes d'émissions de gaz à effet de serre, à condition toutefois d'opérer cette dissociation à partir de sources d'énergies elles-mêmes non émettrices de CO_2 .

Deux procédés sont aujourd'hui envisagés : l'électrolyse de l'eau et la dissociation par cycle thermo-chimique.

Enfin l'hydrogène peut être extrait de la biomasse par une succession d'opérations (séchage, thermolyse, gazéification et raffinage du gaz obtenu).

Cette solution est attrayante car la quantité de CO₂ émise au cours de la conversion de la biomasse en hydrogène est à peu près équivalente à celle qu'absorbent les plantes au cours de leur croissance : l'écobilan est donc nul.

Un jour, il sera aussi peut-être possible de produire de l'hydrogène à partir de bactéries ou de microalgues. En effet, certains de ces organismes ont la particularité de produire de l'hydrogène sous l'action de la lumière. Mais ce procédé n'en est aujourd'hui qu'au stade de laboratoire.

Transport

Pour que l'hydrogène puisse réellement devenir le vecteur énergétique de demain, il faut qu'il soit disponible à tout moment, en tout point du territoire. Par conséquent, il est crucial de mettre au point un réseau de distribution efficace.

L'hydrogène peut être transporté de deux manières : soit à l'état gazeux, sous pression, soit sous forme liquide.

- A l'état gazeux, l'hydrogène peut être transporté dans des canalisations enterrées. De tels réseaux de distribution existent déjà dans différents pays pour approvisionner les industries chimiques. Bien qu'ils restent modestes, ils démontrent une bonne maîtrise du transport de l'hydrogène. Cependant, le coût de transport est environ 50% plus cher que celui du gaz naturel pour une unité de volume transportée trois fois moindre.

- Sous forme liquide, une même quantité occupe un volume mille fois moins important. Sous cette forme, l'hydrogène peut être transporté par des camions citernes. Cependant, sa liquéfaction, à une température de -253°C, est extrêmement difficile et entraîne une dépense énergétique importante et des coûts élevés qui rendent son application difficile pour le grand public.

Stockage

Concevoir des réservoirs à la fois compacts, légers, sûrs et peu coûteux est déterminant puisque c'est cette possibilité de stockage qui rend l'hydrogène particulièrement attractif par rapport à l'électricité.

L'hydrogène peut être stocké sous forme liquide, gazeuse ou solide. Cependant les trois types de stockage présentent des inconvénients.

- Conditionner l'hydrogène sous forme liquide est une solution a priori attrayante. Cependant, après l'hélium, il s'agit du gaz le plus difficile à liquéfier et cette solution est coûteuse.



Dans le domaine spatial

C'est sous sa forme liquide que l'hydrogène est utilisé pour propulser les fusées.

- Le conditionnement sous forme gazeuse dans des réservoirs sous pression est une option prometteuse. Il pose néanmoins deux problèmes : les fortes pressions requises et le contrôle des fuites, l'hydrogène ayant naturellement tendance à diffuser dans les microfissures. Il nécessite donc des matériaux coûteux, d'une grande étanchéité et capables de résister à des fortes pressions.

- Une alternative à l'utilisation de réservoirs sous pression gazeuse consisterait à stocker l'hydrogène dans certains matériaux carbonés ou dans certains alliages métalliques, les hydrures, capables d'absorber l'hydrogène et de le restituer lorsque cela est nécessaire. Ce mode de stockage, coûteux, fait actuellement l'objet de nombreuses études.

Distribution

Pour distribuer l'hydrogène, des infrastructures de ravitaillement doivent également être développées. La mise au point de stations-service ne semble pas poser de problèmes particuliers. Une quarantaine de stations pilotes existent d'ailleurs déjà dans le monde. Il faudra cependant du temps pour que ces stations-service couvrent tout le territoire, ce qui risque de freiner le développement de l'hydrogène dans les transports.

Alors, sommes-nous à l'aube d'une révolution énergétique basée sur l'hydrogène ? Difficile à dire. En effet, ses qualités exceptionnelles en font un candidat de choix pour l'avenir et déjà, certaines voitures roulent à l'hydrogène grâce aux piles à combustible. Pour autant, de nombreux efforts restent aujourd'hui à poursuivre pour en généraliser l'utilisation.

Ainsi, afin d'améliorer sa production, son stockage et son transport et obtenir un écobilan favorable, toutes les pistes doivent être explorées, voire combinées entre elles.

En outre, au-delà des obstacles technologiques et écologiques, la dimension économique n'est pas non plus à négliger. En effet, pour convaincre les pays d'adopter la filière hydrogène, celle-ci devra être en effet moins coûteuse.

Document réalisé par l'équipe médiation de la Galerie Eurêka

Galerie Eurêka - C.C.S.T.I. de la Ville de Chambéry
Hôtel de Ville BP 1105
73 011 CHAMBERY cedex
tel : 04-79-60-04-25

e-mail : galerie.eureka@ccsti-chambery.org
Site Internet : www.chambery.fr/galerie.eureka