

HISTORIQUE DE L'HYDROGENE

L'hydrogène, l'élément le plus abondant et la plus ancien de l'Univers, est apparu il y a 13 milliards d'années. Peu présent sur terre à l'état naturel, il y est en revanche très répandu à l'état combiné dans de nombreuses substances, en particulier avec l'oxygène avec lequel il constitue l'eau et le carbone avec lequel il constitue l'ensemble des hydrocarbures.

De l'Antiquité, à la suite d'[Empédocle](#) puis d'[Aristote](#), tous les savants ont été convaincus que l'univers était constitué de quatre éléments : l'eau, la terre, l'air et le feu, l'hydrogène n'étant pas alors considéré comme distinct de l'air. Après une vingtaine de siècles, des doutes s'insinuent. Au XVI^{ème}, le philosophe et médecin suisse [Paracelse](#) (1493 – 1541), qui était aussi alchimiste et physicien, se demande si "l'air" qui se dégage lors de la réaction du vitriol sur le fer est bien identique à l'air que nous respirons.



Figure 1 – Paracelse

Au siècle suivant, [Robert Boyle](#) (1627 – 1691) isole cet "air", puis [Henry Cavendish](#) (1731 – 1810), physicien et chimiste britannique, reprend les travaux de [Paracelse](#) avec différents métaux. En 1766, il recueille d'importantes quantités de gaz dans des vessies de porc et montre que ce gaz, "l'air inflammable", brûle dans l'atmosphère en produisant de l'eau.

Puis les expériences d'[Antoine Laurent de Lavoisier](#) (1743 – 1794), assisté de [Pierre Simon](#) et [Jean Baptiste Meusnier de La Place](#), fondent la chimie moderne en donnant une interprétation des résultats précédents grâce à la synthèse de l'eau effectuée le 24 juin 1783 en présence de [Sir Charles Bogden](#), Secrétaire de la *Royal Society*. Un ballon dont le bouchon comportait deux électrodes et trois tubulures munies chacune d'un robinet était par l'une d'elles préalablement vidé de son air (Fig. 2).

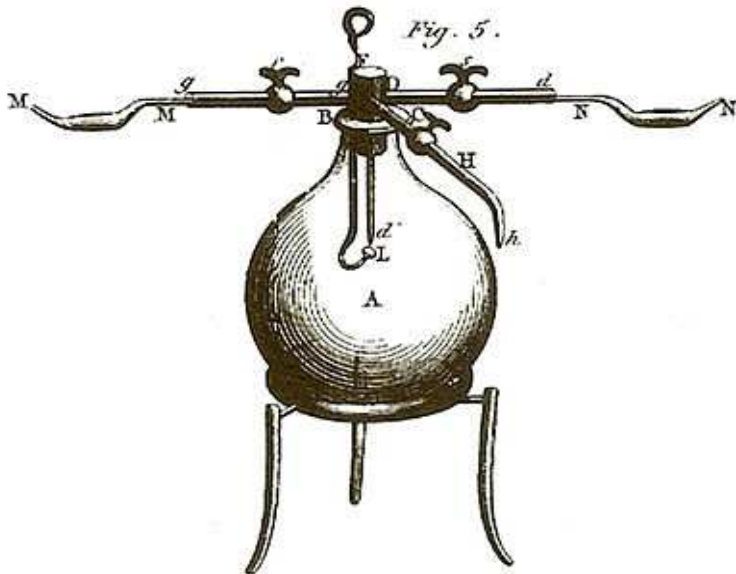


Figure 2 – L'expérience de Lavoisier

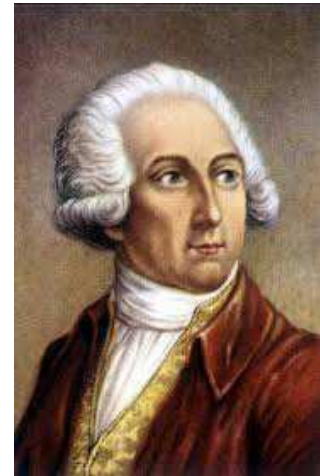


Figure 3 - Lavoisier

Par les deux autres tubulures était introduit en quantité égale de l'air vital et de l'air inflammable et, après l'éclatement d'une étincelle entre les électrodes, une goutte d'eau était recueillie dans le fond du ballon. Cela permit à Sir Bogden d'écrire, dès le lendemain, à l'Académie des Sciences française, après la description de l'expérience : *"nous ne balançâmes pas à en conclure que l'eau n'est pas une substance simple et qu'elle est composée, poids pour poids, d'air inflammable et d'air vital"*. Cet air inflammable qui, avec l'oxygène, l'air vital, composait l'eau, est l'hydrogène, nom signifiant : «qui produit de l'eau».

En avril de l'année suivante, [Lavoisier](#) et [Meusnier](#) présentent à l'Académie un procédé quasi industriel de production d'hydrogène en grande quantité par action de l'eau sur le "fer au rouge" (Figure 4).

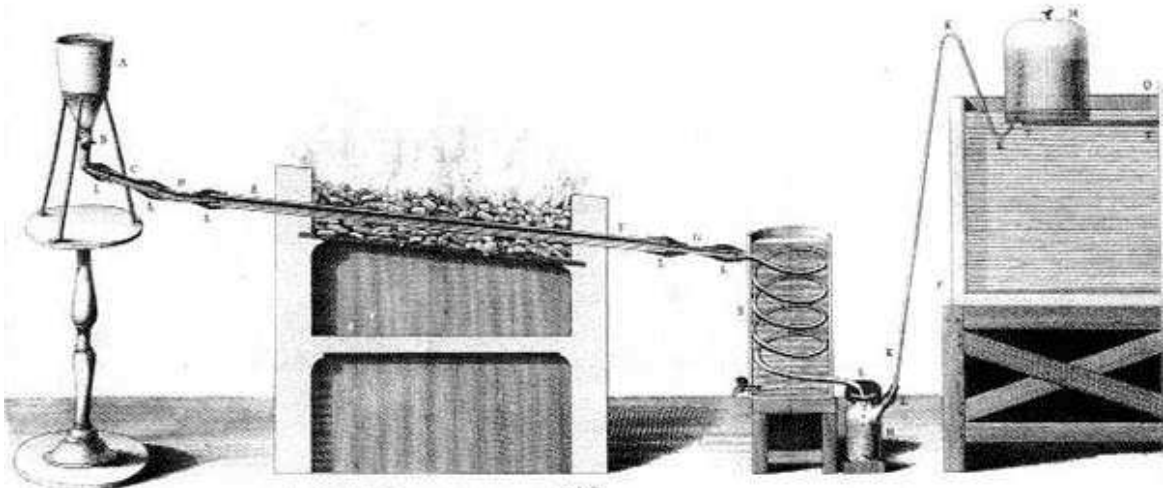
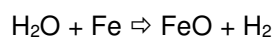


Figure 4 – Dispositif de Lavoisier et Meusnier pour produire de l'hydrogène

Il s'agissait en fait d'une oxydation du fer et d'une réduction de l'eau, par la réaction :



Henry Cavendish avait mis en évidence la faible densité de l'hydrogène en le recueillant dans des vessies de porc, résultat retrouvé par le physicien et chimiste français Jacques Alexandre Charles (1746- 1823), lequel l'expérimente avec des bulles de savon. Ces expériences sont connues des frères Montgolfier, fabricants de papier à Annonay près de Lyon, qui se passionnent pour la navigation aérienne. Ils font quelques essais avec de "l'air inflammable" dont ils gonflent de petits ballons de papier et de tissu de soie, mais constatent que la force ascensionnelle n'est que momentanée "parce que le gaz se perd à travers les parois". Par suite, ils reprennent leurs travaux avec de l'air chaud, ce qui conduira à la très célèbre montgolfière. Un vol de démonstration de cette machine avec des animaux à bord est présenté au roi de France le 19 septembre 1783, et il est suivi par le premier vol humain, avec Pilastre de Rozier et le Marquis d'Arlande, le 19 octobre de la même année.

De son côté, J. A. Charles persévère dans son idée d'utiliser l'hydrogène pour les aérostats des frères Montgolfier et, le 1^{er} décembre 1783, fait voler devant 300 000 spectateurs rassemblés aux Tuileries, un ballon gonflé à l'hydrogène (Figure 5). Le succès de ce type de ballon intéressa les militaires pour l'observation des troupes sur les champs de bataille. Ainsi, en juin 1794, les premières observations aériennes avec le ballon "l'Entreprenant" depuis une altitude de 300 mètres, ont permis à l'Etat-Major des armées de la Révolution française de déjouer, en plusieurs points, les mouvements de l'armée autrichienne et, en définitive, de remporter la bataille de Fleurus, ce qui changea le cours de l'histoire.



Figure 5 – Ballon à hydrogène (appelé la “charlière”) de J. A. Charles en 1783,

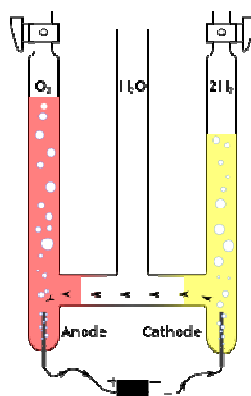
De nombreuses découvertes suivirent :

En 1791, le français Lebon invente le gaz d'éclairage qu'il obtient par distillation du bois, un gaz combustible composé d'hydrogène (50%), de méthane et de monoxyde de carbone. Avec ce gaz, il met au point une *Thermolampe* qui trouve sa première application avec l'éclairage de la ville de Paris. Il fait installer pour la première fois ce système d'éclairage dans l'hôtel de Seigneley en 1801.

En 1800 Nicholson et Carlisle confirment la composition de l'eau en découvrant l'électrolyse qui la dissocie en hydrogène et oxygène par le courant électrique débité par la pile électrique que Volta vient de découvrir (Fig. 6).



Nicholson



Pile de Volta



Carlisle

Figure 6 – Expérience d'électrolyse de l'eau de Nicholson et Carlisle

En 1804, le français [Louis Joseph Gay Lussac](#) et l'allemand [Alexander von Humboldt](#) démontrent conjointement que l'eau est composée d'un volume d'oxygène pour deux volumes d'hydrogène.

En 1807, le suisse [Isaac de Rivaz](#) dépose le brevet du premier moteur dit « à explosion » fonctionnant avec l'hydrogène du gaz de houille dont la combustion, initiée par une étincelle électrique, déplace un piston qui met en mouvement les roues du véhicule sur lequel est installé le dispositif (Fig. 7).

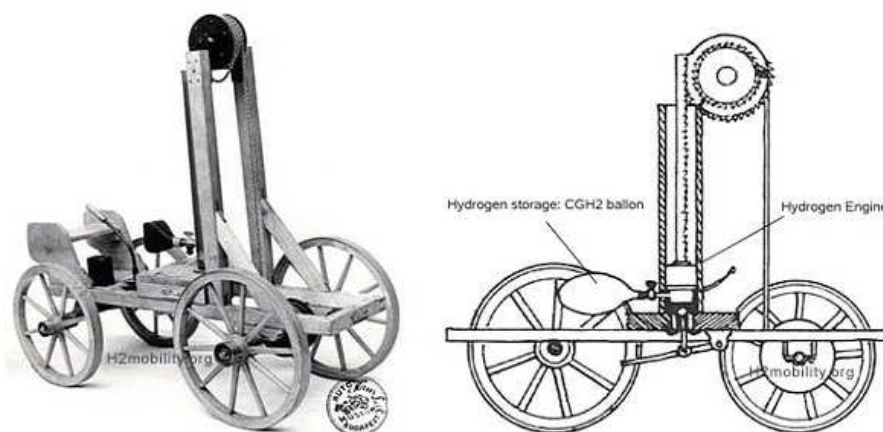
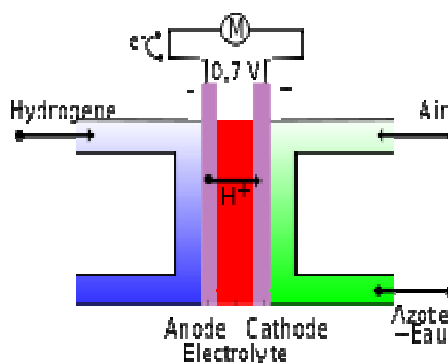
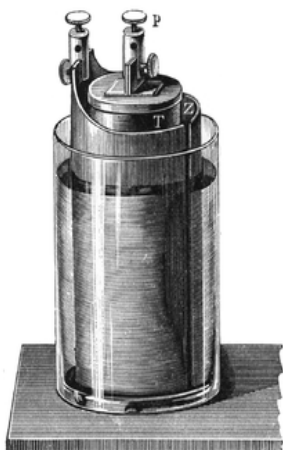


Figure 7 – Véhicule d'Isaac de Rivaz, la première automobile à moteur à combustion interne

En 1839, [Christian Friedrich Schöbein](#) et [William Grove](#) découvrent le principe de la pile à combustible qui par combinaison chimique de l'hydrogène et de l'oxygène produit de l'électricité, de la chaleur et de l'eau (Fig.8). Ils mettent au point les premiers exemplaires de ce dispositif dont le processus de fonctionnement est l'inverse de celui de l'électrolyse.



Schönbein



Grove

Figure 8 – La pile à combustible et son principe

Puis, à la fin du XIX^{ème} siècle, indépendamment l'un de l'autre, le suisse [Adolphe Pictet](#) et le français [Louis Paul Cailletet](#) liquéfient l'oxygène. Puis, à la suite de ces travaux, le Professeur [Sigismond Wroblewski](#), de l'Université de Cracovie, réussit la première liquéfaction de l'hydrogène, et c'est l'écossais [James Dewar](#) qui parvient, le 12 mai 1898, à récupérer ce liquide en un bain statique stable.

Au début du XX^{ème} siècle, les allemands [Fritz Haber](#) (Prix Nobel en 1918) et [Carl Bosch](#) (Prix Nobel en 1931) inventent le procédé de synthèse de l'ammoniac, qui est perfectionné ensuite par le français [Georges Claude](#), fondateur de la société *Air Liquide*. L'hydrogène devient alors une matière première de l'industrie chimique qui, aujourd'hui, outre la synthèse de l'ammoniac, est utilisée dans de nombreux secteurs (pétrochimie, fabrication d'amines, de méthanol, d'eau oxygénée, industrie alimentaire, métallurgie, élaboration de matériaux, etc.).

Il faut souligner l'importance qu'a connu durant tout le XIX^{ème} siècle et la première moitié du XX^{ème} le gaz à base d'hydrogène suite de la découverte de Lebon et à l'industrialisation de sa production par distillation de la houille. Le bec de gaz, moyen novateur d'éclairer la ville et les particuliers, s'imposa partout. Et, de par ses bonnes propriétés calorifiques, ce gaz devint une source de chaleur mise en pratique par le « réchaud à gaz ». Chaque cité se dota d'un dispositif complet allant de l'usine à gaz au réseau de distribution grâce à la mise en place d'une infrastructure en sous-sol pour l'éclairage public et le chauffage, une distribution généralisée d'énergie calorifique, le « gaz de ville » partout disponible comme cela était signalé sur la façade des immeubles par la mention « gaz à tous les étages ». Mais au début du XX^{ème} siècle, l'éclairage électrique éclipsa peu à peu cet éclairage au gaz et dans les années 1950, c'est pour le chauffage que le gaz de ville fut remplacé par le gaz naturel constitué non pas d'hydrogène mais de méthane..

C'est également durant ces périodes des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles que la physique et la chimie fondamentales par l'expérimentation et la théorie permirent d'identifier les propriétés de l'hydrogène et d'établir ce qu'était sa structure élémentaire : un atome, le plus simple qui soit, composé d'un seul noyau chargé positivement autour duquel gravite un seul électron chargé négativement.

La science de l'hydrogène, née en Europe et plus particulièrement en France, a continué de stimuler les esprits en particulier en raison de son fort pouvoir énergétique. Ainsi vers 1960, est étudié un moteur-fusée à hydrogène,

qui fonctionne en 1968 et est le premier spécimen connu hors des Etats-Unis. Ce succès est une des raisons de la réussite du lanceur européen de satellites Ariane qui utilise dès l'origine un étage supérieur cryotechnique basé sur la combustion hydrogène-oxygène tous les deux embarqués sous forme liquide (Figure 9). Cet essor du moteur-fusée à hydrogène durant la seconde moitié du XX^{ème} siècle peut, sans nul doute, être considéré comme l'un des éléments précurseurs de l'ère de l'hydrogène énergie. Et ce, d'autant que les engins spatiaux propulsés par ces fusées, ont pour source d'électricité des piles à combustible à hydrogène, ces dispositifs tombés dans l'oubli et qui se sont ainsi trouvés totalement réhabilités plus d'un siècle après leur découverte.

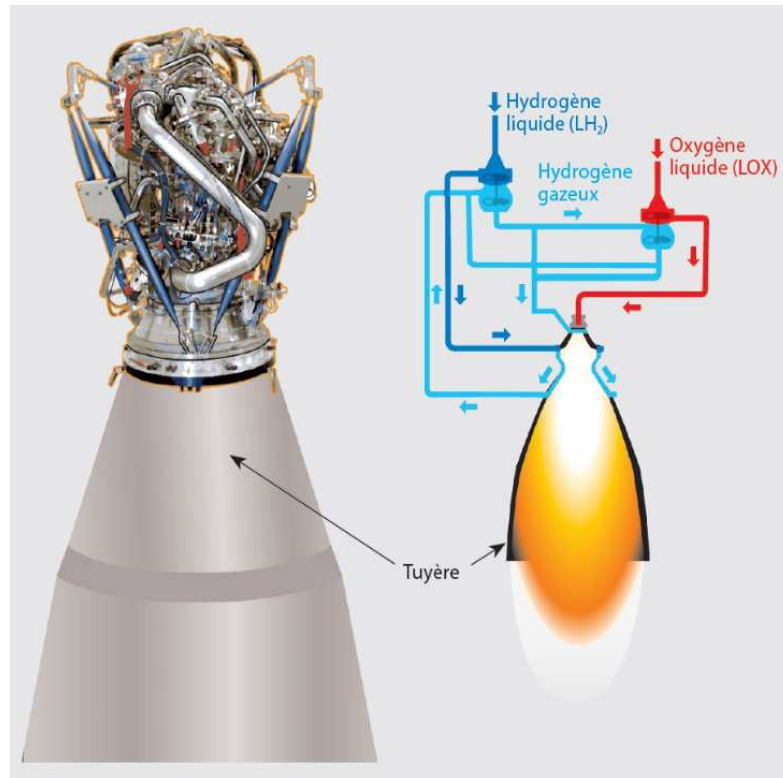


Figure 9 - Moteur-fusée Vinci (moteur de la future fusée Ariane 6)

Le développement des piles à combustible a, au cours de ces dernières décennies, donné lieu à de nombreux travaux, comme par exemple ceux du canadien Geoffrey Ballard, un pionnier très actif qui contribua à la mise au point de la pile à membrane échangeuse de protons, PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell, Figure 10)) avec laquelle, en 1993, à Vancouver, a circulé le premier bus à hydrogène. Ballard qui créa la compagnie « Ballard Power Systems », de nos jours, l'une des premières sur le marché des piles à combustibles PEM qui équipent des nombreux véhicules et équipement électriques.



Geoffrey Ballard

**Figure 10 – Pile à combustible pour véhicules
(75-150 kW)**

Aujourd'hui, la pile à combustible se trouve être au cœur du recours à l'hydrogène comme vecteur d'énergie respectueux de l'environnement qui est à la fois stockable et transportable et qui, sans nul doute, contribuera au succès de la transition écologique en cours.

SOURCES ET REFERENCES

« *Deux siècles d'hydrogène* »

Hommage à Jean Baptiste Meunier, EDF – GDF, Tours 14 – 23 août 1986.

« *L'hydrogène révolutionnaire* »

Christian Bailleux et Pierre Clément - Direction des Etudes et Recherches, EDF, 1989.

« *Nouvelle ville, nouvelle vie : croissance et rôle du réseau gazier parisien au XIX^{ème} siècle* »

Jean-Pierre Williot, Paris et ses réseaux, Bibliothèque historique de la Ville de Paris, 1990.

L'hydrogène – Wikipedia - <http://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrog%C3%A8ne>