

## LES DEFIS TECHNOLOGIQUES DE L'HYDROGENE

Constitué d'un proton et d'un électron, l'atome d'hydrogène est l'élément le plus petit du tableau de classification des éléments chimiques (Mendeleïev). Deux atomes d'hydrogène forment la molécule dihydrogène ( $H_2$ ). On peut trouver ce gaz à l'état naturel (hydrogène blanc) : en Turquie, au Brésil, au Mali, USA, Russie ou au Sultanat d'Oman... Cependant il est essentiellement produit par vaporeformage du méthane, par l'oxydation partielle du pétrole, par gazéification du charbon et dans une moindre mesure par l'électrolyse de l'eau.

De leurs propriétés physico-chimiques découlent les avantages et les inconvénients de leur utilisation, principale enjeu de demain en vue de favoriser le développement d'énergies renouvelables dans la production d'électricité et limiter de ce fait les émissions de gaz à effet de serre. Comprendre les propriétés de ce gaz permet d'identifier les défis technologiques d'aujourd'hui et de demain.

- Densité et mobilité:

Le dihydrogène est le plus léger des gaz, il se trouve à l'état gazeux à la température ambiante et se liquéfie à  $-253^{\circ}C$  (cryogénie). Le fort pouvoir diffusif du dihydrogène nécessite par contre une mise en pression de ce gaz ou une liquéfaction de celui-ci si l'on souhaite le transporter. Ces deux solutions occasionnent une dépense énergétique supplémentaire.

Aussi bien à l'état liquide que gazeux, le dihydrogène est particulièrement sensible aux fuites à cause de la faible viscosité et de sa faible masse molaire. Par conséquent, un système qui serait étanche à l'air ou à tout autre gaz peut s'avérer inefficace face au dihydrogène. Il est intéressant de rappeler que les éléments des installations industrielles travaillant sous  $H_2$ , à l'image des joints d'étanchéités, des vannes, des soupapes, des valves, des flexibles, des clapets anti-retour, des robinets, des compresseurs devront être conçus en intégrant cette forte mobilité tout en disposant d'un système de détection adapté face à d'éventuelles fuites.

Cette mobilité importante peut être perçue comme positif au niveau de la sécurité des installations dans la mesure où cela tendra à limiter le confinement de l' $H_2$  et d'éviter de se retrouver dans les plages du domaine d'inflammabilité (Cf. figure 2) en présence d'un comburant.

- Domaines d'inflammabilité et de détonation.

Dans l'inconscient collectif travailler sous dihydrogène reste angoissant probablement suite à l'incendie du zeppelin Hindenburg (Cf. figure 2) après sa 10<sup>ème</sup> traversée de l'Atlantique dans le New Jersey (1937), à l'utilisation de la « bombe H » testée la 1<sup>ère</sup> fois en 1962 à Ivy Mike (USA) ou à l'explosion des réservoirs de la navette spatiale américaine Challenger (1986).

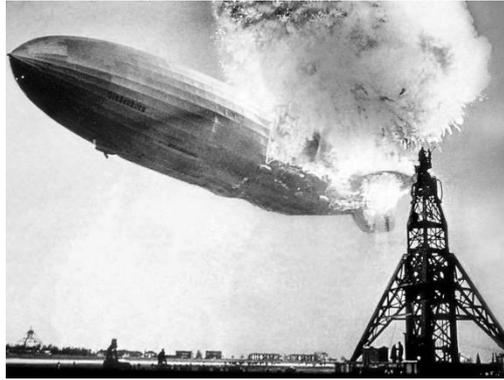


Figure 2 : Incendie du zeppelin Hindenburg à Lakehurst à l'approche de son mât d'amarrage.  
(Source : Wikipédia)

Cette perception est loin d'être usurpée compte tenu des vastes domaines d'inflammabilité et de détonation et de sa très faible énergie d'activation ou d'auto-inflammation (Cf. Figure 3 et tableau 1). En effet, un échauffement thermique localisé, une étincelle d'ordre mécanique, l'électricité statique, ... suffisent pour activer la combustion du gaz H<sub>2</sub>. On peut également ajouter que ce gaz est inodore ce qui le rend difficilement détectable sans la mise en place de technologies adaptées. En revanche, sa flamme incolore est un avantage en cas d'incendie pour les objets environnant, puisque le phénomène de transfert thermique par rayonnement est quasi inexistant.

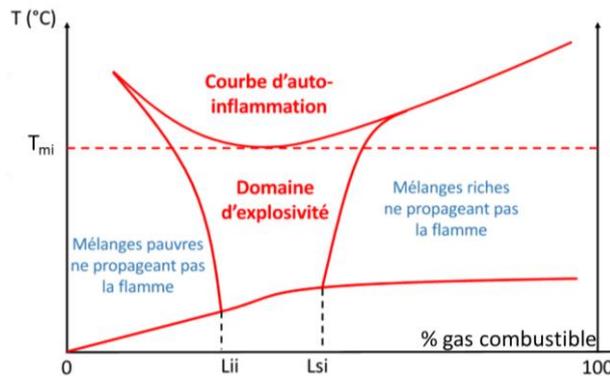


Figure 3 : Domaine d'inflammabilité.

Tableau 1 : Risque d'inflammation et d'explosion.

	Dihydrogène (H <sub>2</sub> )	Gaz naturel (CH <sub>4</sub> )
Limites d'inflammabilité dans l'air (Lii et Lsi en % vol)	4 – 75	5,3 – 15
Limites de détonation dans l'air (% vol)	18,3 - 59	6,3 – 13,5
Energie minimale d'inflammation (mJ)	0,02	0,29
Température d'auto-inflammation (T <sub>mi</sub> en °C)	585	540
Vitesse de combustion dans l'air (cm/s)	265 - 325	37 – 45

La gestion de la sécurité en milieu dihydrogène repose sur le fait de travailler autant que possible en milieu ou ouvert ou d'utiliser des petites quantités réduites et d'assurer un respect des règles dictées par la directive ATEX et autres normes européennes :

- NF EN M58-003 : Installation des systèmes mettant en œuvre l'hydrogène
- ISO / TR 15916 : Considérations fondamentales pour la sécurité des systèmes hydrogénés

La réflexion associée à la sécurité d'un système évoluant sous dihydrogène doit également concerner l'atelier ou les locaux qui abritent les installations (système de ventilation approprié, mise en place de détecteurs,..) et le personnel qui aura la charge de ces installations (maintenance préventive, formation adaptée à ce nouvel environnement de travail).

- L'hydrogène et les matériaux métalliques.

Comme nous avons pu le constater dans les précédents chapitres, il est donc primordial d'anticiper et de maîtriser le régime de combustion de l'hydrogène ainsi que les risques de fuite. Pour cela, il est nécessaire d'avoir une approche industrielle à la fois sur les systèmes mécaniques travaillant sous dihydrogène (limitation des volumes explosibles, cloisonnement avec d'éventuels comburants, calcul des taux de fuite maximal admissible, ...) mais sur la compatibilité et la durabilité des matériaux utilisés avec l'hydrogène.

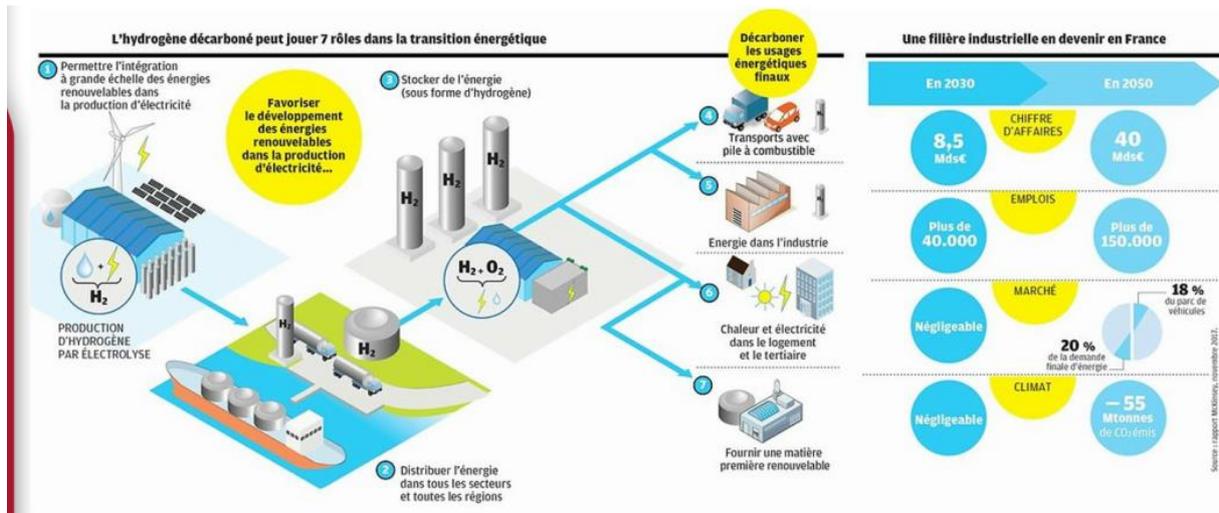
En ce qui concerne les matériaux métalliques, les problèmes sont d'ordre métallurgique :

- l'attaque par hydrogène avec la formation de méthane in situ dans les appareils d'équipement sous pression (bien connue dans le monde des énergies carbonées),
- de fragilisation par l'hydrogène pour les alliages à hautes caractéristiques mécaniques
- le clochage sous hydrogène avec la recombinaison in situ du gaz H<sub>2</sub>.

Ces phénomènes métallurgiques ont pour conséquence une impossibilité d'utiliser certains alliages en présence d'hydrogène ou d'induire une réduction drastique de la durée de vie des produits en milieu hydrogéné en accélérant les endommagements par fatigue et/ou fluage.

Pour limiter ces difficultés majeures, il existe une multitude de solutions en travaillant sur le choix des matériaux métalliques, les caractéristiques mécaniques visées, la mise en place de revêtements en effet barrière ou stockage ou en travaillant sur des systèmes de dégazage ou piégeage de l'hydrogène.

**Nous vous proposons d'étudier ensemble les systèmes hydrogénés qui vous intéressent et les remèdes envisageables face aux problématiques technologiques rencontrés sur vos produits et procédés. N'hésitez pas à nous contacter !**



au niveau de la transition énergétique