



HAL
open science

La sécurité de l'hydrogène

Lionel Perrette, Olivier Gentilhomme

► **To cite this version:**

Lionel Perrette, Olivier Gentilhomme. La sécurité de l'hydrogène. Rapport Scientifique INERIS, 2008, 2007-2008, pp.85-87. ineris-01869205

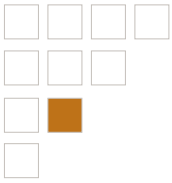
HAL Id: ineris-01869205

<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-01869205>

Submitted on 6 Sep 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



PROCÉDÉS ET NOUVELLES TECHNOLOGIES

La sécurité de l'hydrogène

> LIONEL PERRETTE, OLIVIER GENTILHOMME

Dès 1873, Jules Verne écrivait dans *l'Île mystérieuse* que « l'eau employée comme combustible, que l'hydrogène et l'oxygène qui la constituent, utilisés isolément ou simultanément, fournirent une source de chaleur et de lumière inépuisable... ». Plus de deux siècles plus tard, la menace de l'épuisement des ressources fossiles, dont nous continuons pourtant à dépendre pour les 2/3 de l'énergie produite sur notre planète, et les atteintes diverses de l'environnement (notamment le rejet de CO₂ dans l'atmosphère qui participe à l'augmentation de l'effet de serre) rendent ce qui n'était qu'une prophétie à l'époque de l'écrivain une alternative énergétique de plus en plus souhaitable de nos jours.

UNE DÉMOCRATISATION DE L'USAGE DE L'HYDROGÈNE DIFFICILE...

L'utilisation de l'hydrogène comme source d'énergie n'est pourtant pas nouvelle. À la fin du XIX^e siècle, l'hydrogène était déjà employé comme gaz de ville où il était mélangé avec de l'oxyde de carbone mais aussi comme gaz ascensionnel pour les ballons dirigeables. Mais cette démocratisation de l'usage du gaz s'est souvent heurtée aux interrogations du grand public. Si le mélange d'hydrogène et d'oxyde de carbone a finalement été délaissé comme gaz de ville au profit du gaz naturel, c'était en raison de l'extrême toxicité de l'oxyde de carbone et non à cause de l'hydrogène. Et le public garde toujours en mémoire l'accident du ballon dirigeable *Hindenburg* en 1937, dont l'origine a été attribuée à l'hydrogène, alors que les dernières enquêtes de la NASA semblent suggérer que la cause réelle de l'incendie est liée à la nature extrêmement inflammable du vernis qui recouvrait l'enveloppe du ballon. Certes, l'hydrogène est un gaz inflammable aux propriétés singulières et doit donc, en tant que tel, être utilisé avec précaution mais il n'est pas plus dangereux que le gaz naturel... à condition de bien en connaître les risques ! Pour preuve, le secteur industriel l'utilise abon-

damment avec un niveau de sécurité exemplaire jusqu'à maintenant. L'hydrogène est devenu un composé essentiel pour les industries chimique, pétrochimique, métallurgique, pharmaceutique et alimentaire dont les besoins sont estimés à près de 50 millions de tonnes chaque année. Beaucoup plus symbolique, l'hydrogène sert aussi de carburant dans le domaine spatial : au moins 25 tonnes de ce gaz sont consommées pour propulser la fusée européenne Ariane 5 à chaque décollage.

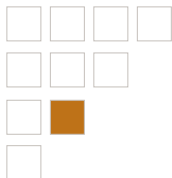
UN GAZ PARTICULIER...

L'hydrogène est un gaz sans odeur, sans couleur et sans goût. Il n'est pas toxique pour l'organisme humain mais peut présenter un risque d'anoxie en diminuant par sa présence la proportion relative d'oxygène de l'air.

La molécule d'hydrogène est volatile et diffuse très rapidement dans l'air. Dans des conditions normales de pression et de température, sa masse volumique est environ 15 fois inférieure à celle de l'air et sa vitesse de diffusion peut atteindre les 2 cm/s dans l'air. Ces propriétés sont certes bénéfiques à la dispersion d'une atmosphère explosible en milieu ouvert mais peuvent conduire à des situations critiques en milieu confiné du fait de l'aptitude du gaz à s'accumuler dans les parties hautes.

Du fait de sa structure diatomique, la molécule d'hydrogène est aussi très petite, ce qui favorise malheureusement sa propension à fuir. Dans les faits, cela se traduit de plusieurs façons :

- Pour les mêmes conditions de rejet, le débit volumique associé à une fuite accidentelle d'hydrogène est supérieur à celui des autres hydrocarbures gazeux et est donc susceptible de former des volumes inflammables plus larges (tableau 1).
- La faible taille de la molécule d'hydrogène facilite aussi sa diffusion dans les matériaux, y compris certains métaux, pourtant en bon état. Il en résulte des fuites par perméation, une fragilisation des propriétés mécaniques



#1

> Comparaison des débits de fuite
(Débits calculés pour un diamètre d'orifice de 5 mm et une pression de fuite de 50 bars dans de l'air à pression et température ambiantes)

| | DÉBIT MASSIQUE EN KG/S | MASSE VOLUMIQUE EN KG/M ³ | DÉBIT VOLUMIQUE EN M ³ /S |
|-----------|---------------------------|---|---|
| Hydrogène | 0,06 | 0,08 | 0,75 |
| Méthane | 0,17 | 0,68 | 0,26 |
| Butane | 0,27 | 1,86 | 0,15 |

du matériau concerné voire, à terme, sa ruine. D'ailleurs, pour limiter ce risque directement lié à la pression du gaz, on se tourne de plus en plus vers les techniques de stockage basse pression i.e. les hydrures métalliques.

- Un effet de drain est également possible, se manifestant par le transport de l'hydrogène d'un milieu riche vers un milieu plus pauvre, via les câbles électriques les reliant. Cette situation peut conduire à l'accumulation d'hydrogène dans des espaces confinés et/ou non ventilés (figure 2).
- De la même manière, l'hydrogène qui est dissous dans les liquides peut ensuite s'accumuler dans des enceintes adjacentes.

Sans compter qu'à poids égal, l'hydrogène occupe beaucoup plus de volume qu'un autre gaz, ce qui constitue une contrainte importante pour le transport et le stockage. À titre d'exemple, alors qu'un réservoir de 5 l d'essence serait probablement suffisant pour qu'une voiture puisse parcourir 100 km, il lui en faudrait un d'environ 17 500 l rempli d'hydrogène sous pression atmosphérique pour parcourir la même distance. Si cet hydrogène est comprimé à 700 bars, le volume requis n'est alors que de 25 l. Cet exemple est d'autant plus frappant que l'hydrogène a pourtant l'avantage d'être trois fois plus énergétique que les vapeurs d'essence à masse identique !

La compression de l'hydrogène gazeux paraît donc indispensable pour disposer de suffisamment d'énergie à partir d'un volume de stockage qui reste raisonnable. Avec le risque inhérent qu'une défaillance de l'enveloppe de stockage puisse se

traduire par la projection de débris à des vitesses élevées du fait de la forte pression. Il existe néanmoins une alternative qui consiste à stocker l'hydrogène de façon cryogénique, c'est-à-dire sous forme liquide et à une température de - 253,2 °C. Les risques associés sont alors différents. Une exposition malencontreuse de l'hydrogène cryogénique avec une partie du corps humain peut entraîner des gelures importantes. De plus, lorsque ce fluide est réchauffé aux conditions ambiantes, son volume va croître brusquement d'un facteur 845. Si un tel produit fuit accidentellement dans un environnement clos, la pression interne peut alors atteindre plusieurs centaines de bars ce qui provoquera, sous toute vraisemblance, la destruction du confinement.

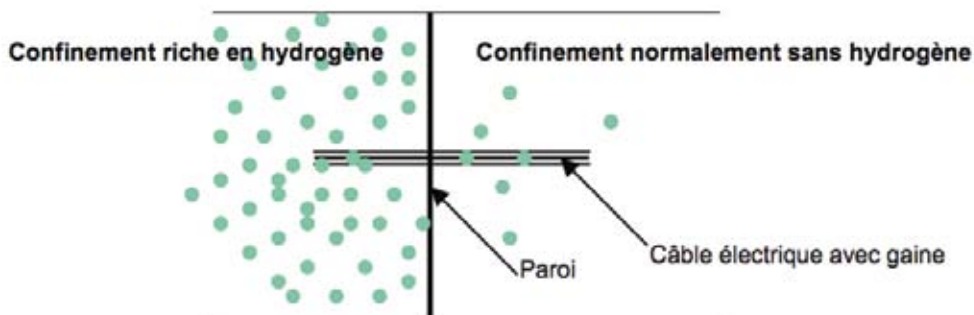
Lors de la combustion de l'hydrogène dans l'air, il n'y a pas de formation de dérivés carbonés et soufrés. Cette absence de particules constitue un intérêt du point de vue environnemental (pas de pollution) mais aussi facilite l'intervention des secours en milieu confiné (meilleure visibilité). Du fait de la réaction de l'azote contenu dans l'air avec une partie de l'oxygène, il y a néanmoins formation de faibles quantités de monoxyde ou de dioxyde d'azote, produits plus généralement regroupés sous le terme de NOx. La flamme d'hydrogène peut atteindre les 2300 °C et elle est à peine visible à l'œil nu de jour⁽¹⁾. Dès lors, un feu d'hydrogène peut ne pas être détecté malgré la présence de nombreuses personnes aux alentours et il peut ainsi se propager en toute « impunité ».

L'hydrogène possède aussi une large plage d'inflammabilité (entre 4 et 75 % vol.) mais une

(1) La flamme d'hydrogène prend néanmoins une couleur rougeâtre bien visible de nuit.

#2

> Effet de drain avec l'hydrogène.



énergie d'inflammation reste nécessaire pour initier cette réaction d'explosion du fait de sa température d'auto-inflammation relativement élevée (= 858 K). Cette quantité d'énergie nécessaire pour enflammer l'atmosphère explosible est en revanche faible, de l'ordre de 20 μ J dans les conditions stœchiométriques (soit 10 fois plus faible que les autres hydrocarbures), ce qui correspond à une très faible décharge électrostatique imperceptible pour l'homme.

L'inflammation d'une telle atmosphère peut donner lieu à une explosion. Selon la vitesse de propagation de la flamme dans le mélange non brûlé, on distingue deux régimes :

- Déflagration : dans ce cas, le front de flamme se déplace avec une vitesse de quelques centaines de m/s et la pression de crête peut atteindre 8 bars au maximum.
- Détonation : la vitesse de flamme est supérieure à 1000 m/s et la pression maximale est alors d'environ 17 bars.

Le régime de détonation est bien plus destructif que le régime de combustion. Généralement, la combustion débute en régime de déflagration puis, du fait de la turbulence induite par la présence d'obstacles, la flamme peut s'accélérer pour entrer en régime de détonation. La détonation peut également être directement initiée par une onde de détonation (explosion d'un explosif) ou par une source énergétique très vive d'au moins 10 000 J.

MALGRÉ CES PARTICULARITÉS, LA FILIÈRE HYDROGÈNE POSSÈDE UN POTENTIEL FORMIDABLE...

Le développement de la filière hydrogène repose en grande partie sur la technologie de la pile à combustible (PAC) qui consiste, très schématiquement, à combiner de l'hydrogène et de l'oxygène pour créer simultanément de l'électricité, de la chaleur et de l'eau. Si le principe de fonctionne-

ment de la PAC est relativement simple, sa mise en œuvre reste complexe et coûteuse. Les applications d'une telle technologie sont nombreuses et incluent :

- les micro-PAC produisant quelques kW pour alimenter les batteries du téléphone mobile, de l'ordinateur portable ou des machines-outils,
- les PAC destinées aux applications embarquées dans le secteur des transports (voiture, bus...). À noter que de tels moteurs bénéficieraient d'un rendement supérieur aux moteurs thermiques actuels.
- les PAC stationnaires suffisamment puissantes pour fournir l'électricité et la chaleur à un immeuble collectif ou à des sites isolés.

Pour que de telles applications puissent se développer pleinement dans une société respectueuse de l'environnement, il convient de relever l'un des derniers défis de la filière hydrogène, mais non le moindre, à savoir son acceptation auprès du grand public. Cette acceptation ne sera possible qu'en progressant sur l'ensemble des thématiques suivantes :

- Développement des connaissances requises pour la maîtrise des risques propres à l'usage d'hydrogène en valorisant les connaissances acquises dans le domaine industriel mais aussi en profitant des nombreux projets européens ou nationaux sur cette thématique (voir encadré sur le projet ANR DRIVE).
- Promotion de l'intégration de principes de sécurité dans la conception des nouveaux systèmes qui produisent, transportent, stockent ou utilisent de l'hydrogène.
- Contribution active au développement du contexte normatif et réglementaire qui, du fait de sa jeunesse, souffre encore de nombreux manques.
- Dissémination et partage des connaissances afin que se concrétise cette transition énergétique sûre et durable.