

FLASH N°52 – Décembre 2016

Au sommaire de ce n°

L'hydrogène, carburant de demain ?1
Éolien flottant.....3

Réagissez à cet article sur le forum de www.centrale-energie.fr, Pôles : « Renouvelables » - « Vecteurs et stockage d'énergie »

Rejoignez-nous sur les réseaux sociaux ! Centrale-Energies dispose d'un groupe sur LinkedIn, Viadeo et Facebook.



Dates à retenir

Mercredi 14 décembre 2016

« De nouvelles solutions pour le stockage des EnR »

**Le Village by CA
55 rue de la Boétie,
75008 Paris
Métro : Miromesnil**

Mercredi 18 janvier 2017

« Nucléaire : et pourquoi pas 80 ans ! »

**Le Village by CA
55 rue de la Boétie,
75008 Paris
Métro : Miromesnil**

L'inscription s'opère à partir des invitations insérées au site de Centrale-Energies :

www.centrale-energie.fr

Prochain Flash (N°53) février 2017

Comité de relecture et de mise en page :

Ravinder Manoharan
Christiane Drevet
Claude Poirson

Hydrogène, carburant de demain ?

Par Alain Argenson (ECN 62)

Le développement de l'utilisation de l'hydrogène comme carburant dépend notamment :

- des progrès techniques en vue de produire l'hydrogène de manière respectueuse pour l'environnement et à un prix compétitif,
- de la mise à disposition d'infrastructures de distribution et de stockage,
- des percées technologiques dans le domaine des systèmes à pile à combustible notamment.

Ces développements doivent répondre aux attentes de sécurité et de coût.

L'hydrogène n'est pas disponible en l'état. Il est combiné avec d'autres atomes comme dans les molécules d'eau (H₂O) et de méthane (CH₄), constituant principal du gaz naturel. C'est un vecteur d'énergie qui doit être produit pour ensuite être stocké, distribué et consommé.

Les particularités de l'hydrogène

- L'hydrogène est un gaz inodore, incolore et non toxique.
- L'hydrogène (H₂) est la molécule la plus petite et le plus léger des gaz. Il se diffuse très vite dans l'air et présente une propension à fuir.
- L'hydrogène est la molécule qui dispose de la plus grande densité énergétique (ratio énergie disponible / masse) : 120 MJ/kg, soit 2,2 fois plus que le gaz naturel ou encore 1 kg d'hydrogène libère environ trois fois plus d'énergie qu'1 kg d'essence.
- En revanche, il a un faible pouvoir énergétique volumique (10,8 MJ/m³ comparé au gaz naturel 39,77 MJ/m³).
- La combustion de l'hydrogène ne génère que de l'eau. Il a une flamme à peine visible à l'œil nu et une température de 2300 °C dans l'air.
- La réglementation le classe comme « extrêmement inflammable » : il a

un large domaine d'inflammabilité (4 à 75 % vol. dans l'air) et une énergie d'inflammation très faible (0,02 MJ).

La Production de l'hydrogène

Aujourd'hui l'hydrogène est produit pour 48 % à partir de gaz naturel principalement méthane (CH₄), 30 % d'hydrocarbures liquides, 18 % de charbon et seulement 4 % par électrolyse.

Les 2 grands principes de production à partir des énergies fossiles sont :

- **le reformage** : le méthane contenu dans le gaz naturel réagit à chaud avec la vapeur d'eau pour former de l'hydrogène et du monoxyde de carbone (CO). Le bilan environnemental de cette technologie dépend donc de la capture et de la séquestration du CO₂ ainsi formé,
- **la gazéification** : c'est une combustion partielle d'une matière organique (charbon, biomasse) en présence d'air ou d'oxygène dont les quantités disponibles ont été volontairement limitées. Cette transformation partielle produit du gaz de synthèse riche en hydrogène. L'hydrogène obtenu peut être utilisé comme carburant.

La production d'hydrogène par électrolyse de l'eau est appelée à se développer et pourrait être très décentralisée avec couplage à l'électricité renouvelable (solaire, éolien).

Le stockage d'hydrogène

L'hydrogène peut être stocké sous forme :

- **gazeuse comprimée** : à plusieurs centaines de bar, dans des réservoirs à hautes pressions : c'est la solution la plus répandue aujourd'hui,
- **liquide cryogénique** : l'hydrogène est liquéfié à -253 °C ce qui consomme de l'énergie et nécessite des réservoirs munis d'une bonne isolation thermique,
- **stocké « solide »** : adsorbé sur un hydrure métallique (ces matériaux

sont lourds et ont une faible capacité de stockage – 4 kg d'hydrogène stocké pour 100 kg de matériaux adsorbants) ou adsorbé par des matériaux poreux (solide à grande surface comme des charbons actifs, nanotubes de carbone, nanofibre, etc.).

Les risques associés

Les risques associés à la production et à l'utilisation de l'hydrogène dans le milieu industriel sont connus et maîtrisés. Le contexte réglementaire y est adapté et les codes de bonnes pratiques existent.

Élargir l'utilisation de l'hydrogène à d'autres applications, comme le transport notamment automobile, nécessite d'établir de nouveaux référentiels, de fixer de nouvelles normes et d'adapter le contexte régissant l'utilisation de l'hydrogène vecteur d'énergie du point de vue de la sécurité.

- Le transport et le stockage :

- o **pour le stockage sous hautes pressions** : la faible densité volumique de l'hydrogène nécessite de le transporter dans des réservoirs à hautes pressions. L'éclatement du réservoir et les effets associés (surpressions aériennes et projection de fragments) sont tout particulièrement redoutés. L'INERIS a conduit des tests sur les réservoirs qui ont été soumis à des agressions (feu, tir à balle, chute...) afin d'évaluer d'une part le niveau de fiabilité des dispositifs de sécurité (fusible thermique et limiteur de débit) et d'autre part le maintien de l'intégrité de ces réservoirs en situation accidentelle,
- o **pour le stockage solide** : la mise en contact accidentelle du composé adsorbant (sous forme de poudre) avec l'air, l'eau ou encore d'autres agents incompatibles est plus particulièrement redoutée compte tenu des risques d'incendie violents qui peuvent en résulter. L'Institut a conduit des tests sur différents matériaux adsorbants qui ont été soumis à des conditions similaires à celles rencontrées en situation accidentelle. Les premiers résultats mettent en évidence, pour les hydrures testés, l'absence de réaction à l'air libre et à l'eau.

- Les fuites et la formation d'atmosphère explosive :

L'hydrogène présente, au regard de sa faible taille moléculaire, une propension à fuir. Dans un milieu confiné et mal ventilé, une atmosphère explosive peut se former. L'INERIS réalise des essais afin d'étudier d'une part la dispersion d'hydrogène et d'autre part les moyens permettant de **prévenir la formation d'atmosphères explosives**, tels que les systèmes de détection et de ventilation.

Le rôle de l'INERIS (*)

(*) *Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques*

Depuis le début des années 2000, l'INERIS participe avec ses partenaires à de nombreux programmes de recherche français et européens couvrant l'ensemble des thématiques propres à la filière hydrogène (technologie de production, transport, stockage et systèmes de conversion).

L'INERIS a réalisé avec ENEA consulting, pour le compte de l'ADEME, **un Guide d'information sur les**

risques et les mesures de sécurité liés à la production décentralisée d'hydrogène (juin 2015). L'Institut a également produit un rapport intitulé *Étude comparative des réglementations, guides et normes concernant les électrolyseurs et le stockage d'hydrogène*.

Les analyses de risques réalisées par l'INERIS, sur la base d'un retour d'expérience de l'accidentologie autour des installations de production et de stockage de l'hydrogène, ont fait ressortir les dangers de l'hydrogène dans **le contexte des électrolyseurs, des compresseurs et des systèmes de stockage associés**.

Les programmes de recherche

L'INERIS participe à différents projets de recherche nationaux ou européens dans **le domaine des risques des nouvelles applications** :

- le projet DIMITRHY cherche à établir des données expérimentales et numériques sur les moyens d'atténuation du risque hydrogène pour des applications de **pile à combustible en milieu confiné ou semi-confiné**,
- le projet CYRANO-1 s'intéresse à **la valorisation de parcs éoliens par stockage d'énergie** sous forme d'hydrogène pressurisé dans un gazoduc, avec pour objectif la régulation d'un réseau électrique susceptible de desservir une population de l'ordre de 500 000 personnes,
- le projet HYPE vise à développer des **réservoirs de stockage haute pression pour l'automobile**, dotés d'une capacité accrue et d'un système de protection incendie,
- le projet AIDHY a pour objectif l'étude **de la perception et de l'acceptabilité** des technologies de l'hydrogène,
- le projet BIOH2 concourt à la mise au point d'un démonstrateur de **production en continu d'hydrogène à partir de biomasse**,
- le projet LOKI R s'intéresse à la **production de gaz de synthèse** basée sur l'utilisation d'échangeur-réacteur micro-structuré,
- le projet BIOH2 GEN porte sur le développement d'une installation de **production d'hydrogène de taille industrielle** par le biais de la technique de reformage catalytique à la vapeur à partir de bioéthanol dégradé,
- le projet H2E (financé par BPIFRANCE/Air Liquide) se concentre sur le développement de technologies innovantes pour **la production d'hydrogène à partir d'énergies renouvelables, le stockage d'hydrogène et l'industrialisation des piles à combustible**. Dans ce cadre, la sécurité du stockage est notamment étudiée,
- le projet Européen HYCHAIN MINI-TRANS doit permettre de **tester en grandeur réelle des véhicules alimentés en électricité par une pile à combustible** dans quatre pays d'Europe, dont la France.

Enfin, l'INERIS est partenaire du réseau d'excellence européen HYSAFE (Safe use of hydrogen as an Energy Carrier) dont l'objectif est de créer un réseau européen d'expertise sur la sécurité de l'hydrogène pour accompagner le développement de la filière.

Éolien flottant

Par Alain Argenson (ECN 62)

Au-delà d'une profondeur de 50 m les éoliennes posées ont des fondations économiquement prohibitives. L'on se tourne alors vers des structures flottantes. Celles-ci peuvent être installées loin des côtes et tirer profit de vitesses de vent plus fortes et plus constantes. S'éloigner des côtes présente d'autres avantages : impact visuel plus faible, une moindre gêne pour la plaisance et la pêche côtière et élargissement des surfaces disponibles.

La filière en est encore au stade des prototypes (Norvège, Portugal, Japon). La France dont le plateau continental descend rapidement à plus de 50 m en Méditerranée et en Atlantique se lance dans le développement de cette filière.

Les performances économiques des éoliennes flottantes dépendront d'options techniques encore à l'étude. Le Carbon Trust a recensé 30 concepts différents portant aussi bien sur le flotteur que sur les éoliennes. Celles-ci pourront atteindre des puissances de 10 voire 15 MW unitaire.

Le défi principal est le flotteur ainsi que l'amarrage et l'ancrage. L'éolienne norvégienne Hywind en mer depuis 2009 est plantée sur une longue et lourde quille-crayon : un flotteur de type SPAR en forme de crayon long et lourd. IFP EN mise sur le flotteur du type

TLP de SBM offshore : une structure triangulaire légère reliant 3 gros bidons d'acier avec un ancrage original quasi vertical (cf. projet de la « zone de Faraman » ci-dessous). EOLFI avec son partenaire DCNS a développé un imposant tripode acier inversé semi-submersible très stable (cf. projet de la « zone de Groix »). Le projet Eole Med de Quadran se démarque avec sa piscine flottante en béton promu par Ideol (cf. projet de la « zone de Gruissan »).

Le câble électrique sous-marin vers la terre (en 33 KV ou 66 KV de 15 à 20 km de long pour les fermes pilotes), posé ou ensouillé, représente un coût important. Il y a une partie dynamique entre deux eaux pour le raccordement à chaque unité.

La plupart des turbines en développement sont à axe horizontal avec 3 pales ; les machines de 8 MW ont leurs nacelles, pesant 500 t, perchées à 120 m au-dessus de la mer. Leurs tours pèsent 700 t et leur rotor fait 180 m de diamètre. Les turbines (rotors et nacelles) doivent être conçues pour accepter le roulis et le tangage du flotteur. Des concepts d'éoliennes à axe vertical sont également développés.

Le Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer a lancé des appels à projets de fermes pilotes de 3 à 5 machines d'au moins 6 MW.

Quatre projets ont été sélectionnés.

Zone de Gruissan en Méditerranée :

- 4 éoliennes Senvion de 6,12 MW chacune à 15 km de la côte,
- entreprises : Quadran, Ideol et Bouygues,
- flotteur en béton,
- un démonstrateur est en cours de construction à St Nazaire et sera mis à l'eau sur le site d'essai SEM-REV de Centrale Nantes au Croisic.



Zone de Leucate en Méditerranée :

- 4 éoliennes GE de 6 MW chacune à 11/20 km de la côte,
- entreprises : Engie, Eiffage, EDPR et CDC,
- flotteur en acier Windfloat de Principal Power, expérimenté au Portugal.



Zone de Groix en Atlantique :

- 4 éoliennes GE de 6 MW chacune à 13/14 km de la côte,
- entreprises : EOLFI, CGN Europe, DCNS et Vinci,
- adaptation de l'éolienne Haliade d'Alstom expérimentée à terre au Carnet (44),
- flotteur en acier.



Zone de Faraman au large de Fos-sur-Mer en Méditerranée :

- 3 éoliennes Siemens de 8 MW chacune à 11/20 km,
- entreprises : EDF Energies Nouvelles,
- flotteurs SBM/IFP EN en acier.



Solution à axe vertical

Le projet Vertiwind de Nénuphar à axe vertical n'a pas été retenu pour un déploiement industriel car considéré insuffisamment avancé. Un prototype est en cours d'expérimentation à Fos-sur-Mer.

Le rendement est théoriquement plus faible qu'un axe horizontal. Les 2 éoliennes, sur une même structure flottante, tournent en sens inverse et créent un phénomène de venturi. Il n'y a pas de problème d'orientation.

