

---

## DISTRIBUTION GENERALISEE DE L'HYDROGENE

### Sommaire

#### **1 – Introduction**

#### **2 – Production et distribution**

#### **3 – Production et distribution locales**

#### **4 – Production centralisée et distribution à grande échelle**

#### **5 - Conclusion**

### 1. Introduction

Si un jour le recours à l'hydrogène énergie se généralise à la fois aux transports, à l'industrie, à l'agriculture et à l'usage domestique, le distribuer deviendra un enjeu primordial dans le contexte d'une véritable « économie de l'hydrogène »<sup>(1)(2)</sup> et « du développement durable »<sup>(3)</sup>. Selon certains visionnaires du début du siècle, on devrait alors connaître « une nouvelle mondialisation »<sup>(1)</sup> et « une société sans carbone »<sup>(4)</sup> voire se diriger vers la « civilisation hydrogène »<sup>(5)</sup>. Récemment Jérémy Rifkin, en prévoyant de stocker les énergies renouvelables par l'hydrogène, confère à ce dernier le rôle de troisième pilier de sa : « Troisième révolution industrielle »<sup>(6)</sup>. Et pour ce qui est des transports, il recommande le recours aux véhicules électriques à pile à combustible à hydrogène: le cinquième pilier de cette troisième révolution industrielle.

Aujourd'hui, la distribution généralisée de l'hydrogène énergie est pour le moins hypothétique car son utilisation autre que pour le transport – elle même encore à l'état de démonstration - reste limitée à quelques expériences. C'est pourquoi ce qui suit est à considérer comme une réflexion prospective sur la seule base des possibilités technologiques actuelles sans prendre en compte les coûts, la compétitivité ni les implications économiques qui pourraient en résulter. Il s'agit d'une prospective en partie empreinte d'imagination, si ce n'est d'un peu d'utopie.

### 2. Production et distribution

Pour distribuer l'hydrogène énergie, assez naturelle est l'idée de se reporter au modèle de la distribution du gaz. A l'origine lorsqu'il s'agissait du gaz de ville, cette distribution était localisée autour de l'usine à gaz dont disposait alors chaque agglomération. Lors de l'avènement du gaz naturel, la production – d'abord le captage du gaz de Lacq puis aujourd'hui l'importation – est devenue centralisée et en conséquence la distribution s'est étendue à tout le territoire grâce à un réseau de gazoducs et de points de stockage appropriés. Ramenés à l'hydrogène, ces deux types de distribution correspondraient :

- A une production localisée à petite échelle comme celle que fournirait l'électrolyse de l'eau avec de l'électricité issue d'énergie renouvelable solaire, éolienne, hydraulique ou autre,
- A une production à grande échelle qui se ferait par reformage d'hydrocarbures, ou par dissociation thermo-chimique de l'eau ou de la biomasse. Ce peut être aussi une production importante par électrolyse haute température à grande échelle, liée soit à une centrale nucléaire, soit à la production d'électricité renouvelable d'une ferme éolienne, d'une ferme solaire ou d'une centrale hydroélectrique.

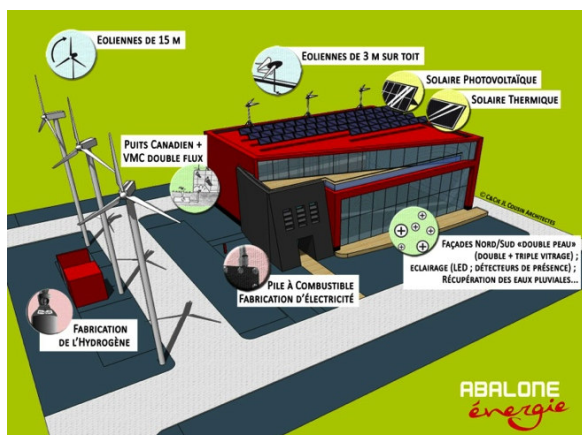
La distribution de l'hydrogène proprement dite consiste à l'acheminer du lieu où il est produit et stocké, à son utilisateur. Or d'après le §4 de la fiche 4.5.1 précédente concernant le bilan énergétique de cette distribution, il ressort que l'hydrogène doit être transporté le moins possible et surtout pas par la route. Pour les grosses quantités, le transport sous la forme liquide est envisageable mais à condition d'utiliser plutôt le chemin de fer et/ou les voies d'eau. En fait le gazoduc s'avère être la meilleure solution. Aussi dans ce qui suit, c'est à ce mode de distribution de l'hydrogène que nous ferons allusion et ce, d'autant que la technologie correspondante est depuis longtemps maîtrisée, si l'on se rapporte aux réseaux de transport d'hydrogène gazeux construits pour les besoins de l'industrie chimique et présentés en détail dans la fiche 4.1.

### **3. Production et distribution locales**

#### **3.1 – Utilisation sur le lieu même de la production.**

Cette situation du point de vue de la distribution est extrême puisqu'elle ne nécessite aucun transport d'hydrogène. On rencontre ce cas dans les stations service pour automobiles qui distribuent l'hydrogène produit sur place par électrolyse de l'eau avec de l'électricité provenant d'une éolienne ou d'un panneau photovoltaïque accolé à la station. Les § 2 et 3 de la fiche précédente 4.5.1 donnent les détails techniques sur les stations service et l'origine de l'hydrogène distribué; le § 5 cite les stations actuellement en service dans le monde qui produisent elles-mêmes leur hydrogène.

D'autres situations possibles de production d'hydrogène in situ, sans nécessité de distribution, peuvent s'appliquer à l'alimentation énergétique de bâtiments à usage professionnel ou d'habitations. Ces bâtiments doivent être équipés de capteurs photovoltaïques disposés sur leur toiture ou couplés à de petites éoliennes. A la suite, se trouvent un ensemble électrolyseur-module de stockage et une pile à combustible stationnaire qui produit électricité et chaleur (cf. Fiche 9.3.2 sur les applications stationnaires dans le secteur résidentiel). Ce type d'aménagement, en permettant le stockage de l'énergie par l'hydrogène, rend ces bâtiments entièrement autonomes, voire à énergie positive. L'énergie excédentaire peut alors être distribuée au voisinage sous la forme d'hydrogène ou d'électricité, cette dernière pouvant aussi être injectée dans le réseau de distribution général. Parmi les projets de démonstration existant un peu partout dans le monde, citons celui qui, en France, a été développé par « Abalone énergie » à Saint-Herblain dans les environs de Nantes lors de la construction de son siège social. Il s'agit d'un bâtiment à énergie positive dont l'équipement correspond à la description ci-dessus.



Unité Abalone

## 2°) – Distribution autour d'une production locale

Liée à une centrale locale, la distribution de l'hydrogène correspondrait – conditionnel ou pourquoi pas futur - à un transport sur une courte distance, la meilleure des solutions d'après les conclusions de la Fiche 4.1. Cette situation serait bien différente des schémas actuels de centralisation et de distribution généralisée de l'énergie électrique et du gaz naturel. En particulier, on peut imaginer des générateurs diversifiés utilisant des énergies renouvelables locales soit dans les zones périurbaines soit dans les zones rurales.

Pour ce qui concerne l'énergie solaire, une possibilité intéressante est le recours à des capteurs photovoltaïques placés sur les toitures des constructions : usines, entrepôts, grandes surfaces, maisons individuelles ou encore les toitures des fermes et installations agricoles. Ainsi par exemple le toit d'une maison individuelle offre une surface disponible pour des panneaux photovoltaïques d'au moins 100 m<sup>2</sup>. Ainsi avec un rendement entre 0.1 et 0.2 kWe/m<sup>2</sup> et un ensoleillement moyen du nord au sud de la France de 1 200 à 1 800 heures par an, ce sont entre 10 et 30 000 kWh d'énergie électrique qui peuvent être disponibles en une année pour chaque habitation. Transformée en hydrogène par électrolyse de l'eau avec un rendement moyen de 65%, cela correspond à une énergie stockée disponible de l'ordre de 8 à 20 000 kWh par an. Dans le cas de bâtiments d'exploitation agricole ou d'entreprise recouverts de beaucoup plus grandes toitures, la quantité d'hydrogène récupérable est en proportion. Resterait à souhaiter un « design » industriel suffisamment créatif pour que ces toitures en capteurs solaires soient esthétiquement acceptables.

Bien qu'il soit possible de disposer dans chaque maison ou chaque grand bâtiment d'un électrolyseur et d'une installation de stockage d'hydrogène alimentant une pile à combustible, il paraît plus facile d'envisager l'installation de petites centrales de production et de stockage fonctionnant avec l'électricité produite par les capteurs d'un ensemble de toitures voisines. L'hydrogène obtenu serait distribué par gazoduc à chaque bâtiment pour y être transformé en électricité et chaleur par une pile à combustible. Et pourquoi ne pas prélever une partie de cet hydrogène pour les véhicules automobiles très utilisés dans ces zones, où habitations et entreprises sont dispersées ? Cela reviendrait à adjoindre une station service à la centrale. Une autre partie de l'hydrogène pourrait aussi être ajoutée au réseau de gaz naturel pour en renforcer le pouvoir énergétique (le mélange dénommé hythane). Une telle possibilité est actuellement envisagée dans le cadre du projet de démonstration GRHYD mené par GDF SUEZ. Et enfin, dernier perfectionnement: mettre en réseaux énergétiques intelligents (smart grid pour les anglo saxons) ces centrales locales.

Pour les régions ventées ou riches en cours d'eau; un même schéma de production stockage et utilisation d'hydrogène peut être élaboré à partir d'éoliennes ou de turbines hydroélectriques avec un avantage, il faut le souligner, celui d'une plus grande puissance électrique disponible à la sortie de ces générateurs (pour une éolienne, certes en fourniture intermittente, plusieurs MWe, l'équivalent de 1 à 2 hectares de panneaux photovoltaïques; pour une petite centrale hydraulique, en continu, de 0,5 à 1 MW)). En revanche, bruyantes et encombrantes, ces éoliennes ou turbines seraient plutôt à implanter à l'écart des habitations et des lieux d'activité.

Deux installations de chaînes énergétiques localisées, à base d'énergie renouvelable avec un stockage par l'hydrogène, existent en France: les projets de démonstration Myrte et Janus.

Le projet MYRTE (*Mission hYdrogène-Renouvelable pour l'inTégration au réseau Electrique*) associe la centrale solaire de Vignola en Corse à un module de production et stockage d'hydrogène et une pile à combustible. Ainsi 3 000 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques permettent de disposer d'une puissance électrique de 560 kW. Un électrolyseur de type PEM (fourni par Héliion devenu Areva Stockage d'Energie), produit l'hydrogène stocké sous forme de gaz comprimé à 35 bars. A partir de cet hydrogène, deux piles à combustible PEM Héliion de 100 kW chacune, restituent de l'électricité au réseau. Quant à la chaleur résultant de l'électrolyse et de la conversion en électricité dans les piles à combustible, elle est récupérée pour le chauffage de bâtiments (cogénération). Le but de cette opération est de tester la possibilité d'intégrer au réseau électrique de l'énergie solaire intermittente.



**Plate-forme MYRTE**



Le projet Janus de La Croix-Valmer, dans la baie de Saint-Tropez, est conçu sur le même principe que Myrte à partir de capteurs photovoltaïques qui, là, sont placés sur les toits de bâtiments municipaux. L'équipement électrolyseur, module de stockage et pile à combustible, est également assuré par Areva Stockage d'énergies sous la forme d'un module Green Energy Box. L'objectif est de compenser les insuffisances de fourniture du réseau électrique en période de forte demande, au moment de l'afflux touristique.

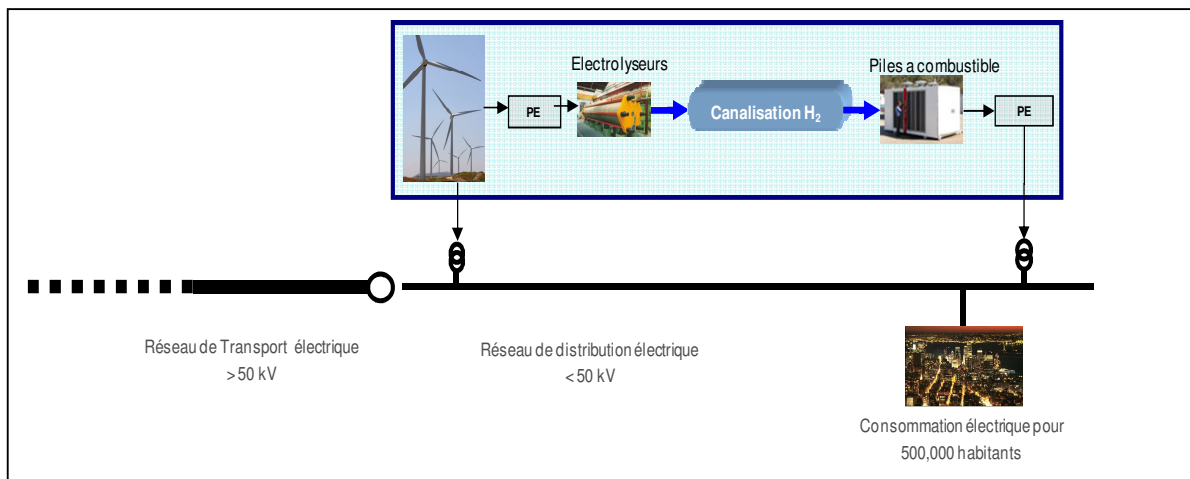
#### **Green Energy Box – Areva Stockage d'énergies**

Si par l'intermédiaire de l'hydrogène une telle répartition de la production d'énergie, de son stockage et de son transport était adoptée, que devrait-on faire de l'actuelle production d'électricité centralisée et de ses réseaux de distribution? A l'évidence, les conserver. Dans un premier temps, afin d'accompagner la transition vers cette technologie énergies renouvelables-hydrogène, pour ensuite les réduire tout en les adaptant à la complémentarité à la nouvelle production décentralisée par la mise en réseaux intelligents.

#### **4. Production centralisée et distribution à grande échelle**

Distribuer l'hydrogène à partir de grosses centrales de production, reviendrait à reproduire ce qui existe actuellement pour la distribution de l'électricité à partir des centrales nucléaire ou plus encore du gaz naturel à partir des points d'importation. Si comme il est dit plus haut, l'acheminement de l'hydrogène par gazoduc est le moyen le plus adapté, il exige la construction d'une importante infrastructure de canalisations maillant tout le territoire à l'image de ce qui a été réalisé pour le réseau de gaz naturel. A propos de ce réseau de gaz naturel, existe une possibilité déjà expérimentée qui est de l'utiliser pour transporter de l'hydrogène. Il s'agit de le mélanger au gaz naturel pour, à l'arrivée, l'en séparer par un procédé du type membranaire, une solution transitoire, dans l'attente du tout hydrogène.

Il y a quelques années, a été menée une étude prospective d'une chaîne énergétique de grande puissance à base d'énergies renouvelables capable d'assurer la fourniture électrique d'une population de 500 000 habitants. Il s'agissait du projet Cyrano-1 de l'ANR coordonné par GDF SUEZ qui consistait en une analyse technico-économique, réglementaire et sécuritaire d'un réseau « Eolien-électrolyseur-gazoduc à hydrogène-pile à combustible ». Les résultats de l'étude furent défavorables à une chaîne de grande puissance capable de fournir l'électricité à une population de 500 000 habitants, que ce soit en circuit autonome ou connecté au réseau. En revanche, en divisant par dix la capacité de cette chaîne Cyrano, c'est-à-dire adaptée à une population de 50 000 habitants, son utilisation devient acceptable même si le coût de la production électrique reste très élevée, de 1 000 à 4 000 €/MWh. Mais ce coût pourrait être ramené à quelques centaines d'euros en utilisant les canalisations de réseaux d'hydrogène ou de gaz naturel existants comme il est mentionné plus haut, en valorisant les productions connexes, oxygène et chaleur, et en misant sur un abaissement du prix des électrolyseurs et des piles à combustible. Sur un plan technique, il faut souhaiter que des progrès soient accomplis concernant le fonctionnement des électrolyseurs en régime variable, le stockage massif de l'hydrogène et la mise en place de réseaux énergétiques intelligents permettant de valoriser l'hydrogène dans des applications électriques et gazières.



**Chaîne hydrogène étudiée dans le projet CYRANO-1 connectée à un réseau électrique existant**

## **5. Conclusion**

« La distribution généralisée de l'hydrogène énergie », il faudrait plutôt dire « L'utilisation généralisée de l'hydrogène énergie », relève encore en partie de la fiction. Certes, de nombreuses solutions peuvent être imaginées, mais les réalités technologiques et économiques d'aujourd'hui les tempèrent beaucoup, il ne faudrait pas qu'elles les condamnent. C'est pourquoi, il est indispensable que soient multipliées les opérations de démonstration de chaînes énergétiques utilisant l'hydrogène comme vecteur de stockage et de distribution. Les retours sur expériences devraient alors fournir des données déterminantes pour les futures avancées de la filière. Si le temps des démonstrations est arrivé, celui de la montée en puissance d'une industrie de l'hydrogène dans le cadre d'une économie hydrogène est encore devant nous.

## **Références**

- (1) RIFKIN (J.).–*L'économie hydrogène*. Éditions La Découverte, Paris (2002).
- (2) VEZIROGLU (T.N.) et MURADOV (N.Z.) – *From hydrocarbon to hydrogen-carbon to hydrogen economy*. Int. J. Hydrogen Energy, vol. 30,p.225-37 (2005).
- (3) VEZIROGLU (T.N.) – *21<sup>th</sup> Century's Energy: Hydrogen Energy System*. Assessment of Hydrogen Energy of Sustainable Development, pages 9-31, Springer (2007).
- (4) KAYA (Y.).– *A Road toward Decarbonized Society*.15<sup>th</sup> World Hydrogen Energy Conference, Yokohama, Japan, 27 juin-2 juil.2004.
- (5) GOLSTOV (V.A.) et VEZIROGLU(T.N.).–*From hydrogen economy to hydrogen civilization*. International J. Hydrogen Energy, vol.26,p.909-915(2001).
- (6) RIFKIN (J.). – *La troisième révolution industrielle*. Les Liens qui Libèrent, Paris (2012).