

# Stockage d'énergie électrique d'heures creuses et production massive d'hydrogène par électrolyse de l'eau

*Jean Corrihons*

## 1. ORIGINE DU PROBLÈME

**L**E rôle du stockage d'énergie produite en heures creuses est d'une importance d'autant plus grande que le coût marginal des kilowattheures atteint alors dans les centrales nucléaires des niveaux extrêmement bas. Or, il apparaît que le programme d'équipement de la France en centrales nucléaires va assurer prochainement, non seulement la base du diagramme des consommations, mais également une bonne partie de la demi-base. On prévoit jusqu'à 10 TWh de courant d'heures creuses en 1990.

Le principal procédé de stockage de cette électricité d'heures creuses est actuellement celui du pompage de l'eau entre deux niveaux grâce à des turbines-pompes réversibles. Cette solution très éprouvée donne toute satisfaction, car elle restitue l'énergie sous forme d'électricité. Mais elle exige des sites géographiques très particuliers, et leur rareté progressive les éloigne des grands centres de consommation d'énergie de pointe.

Un autre procédé suscite de plus en plus d'intérêt. Il s'agit du stockage d'énergie électrique sous forme chimique. Certes les batteries répondent depuis longtemps à cette définition. Mais il est probable que, sur le plan industriel, ce sont les procédés avancés d'électrolyse de l'eau qui connaissent la plus forte expansion, car ils pourront produire valablement de l'hydrogène en substi-

tution d'hydrocarbures importés.

Actuellement, l'hydrogène électrolytique est généré par des installations constituées de modules de puissance relativement limitée, quelques megawatts seulement. De plus, les conditions de fonctionnement, faible densité de courant 0,15 à 0,3 A/cm<sup>2</sup>, température de l'électrolyte 80 à 100 °C, pression jusqu'à 30 bars, conduisent à des coûts d'investissement élevés qui ne permettent pas d'envisager une production d'hydrogène de façon compétitive. Enfin, ces installations se prêtent mal à des variations de charge rapides et fréquentes, condition indispensable pour l'utilisation optimale du courant d'heures creuses.

Il est donc apparu nécessaire de développer une nouvelle technique permettant de créer des unités modulables pouvant atteindre des capacités de plusieurs centaines de mégawatts, avec, comme objectifs essentiels, un coût d'investissement nettement réduit, de l'ordre de la moitié de celui correspondant aux techniques actuelles, un rendement au moins égal et une grande souplesse d'utilisation permettant de rentabiliser une disponibilité du courant électrique très fractionnée et d'absorber des variations de charge instantanées importantes du réseau.

C'est dans cette optique que, sous l'impulsion d'Electricité de France, de Gaz de France et du Comité Hydrogène de la DGRST, Creusot-Loire a abordé ce développement, dès 1976, en association avec SRTI. Alstom étudie une solution parallèle.

## 2. OPTIONS RETENUES

Pour atteindre l'objectif de coût, il est indispensable de développer une *technique avancée*, en prévoyant l'augmentation de la densité de courant dans l'électrolyseur, ce qui entraîne une surtension aux électrodes qu'il faut alors réduire par une élévation de la température de fonctionnement. Simultanément, l'augmentation de la pression permet de supprimer ou de réduire le coût de compression de l'hydrogène, selon sa destination finale.

A l'issue d'un certain nombre de recherches préliminaires, nous nous sommes fixés les conditions de fonctionnement suivantes :

- Densité du courant : 1 A/cm<sup>2</sup> ;
- Température : 160/200 °C ;
- Pression : 70 bars.

La technologie que nous avons adoptée est en cours d'expérimentation. Les essais d'endurance de notre pilote de 25 kW effectués jusqu'ici ont montré le bien-fondé de nos options de base. Quinze brevets ont été déposés par Creusot-Loire.

Les usines seront constituées de modules de 20 MW, ce qui permettra d'ajuster à volonté leur capacité en fonction des besoins particuliers.

## 3. CONDITIONS ÉCONOMIQUES - DÉBOUCHÉS

Les études technico-économiques effectuées montrent que l'hydrogène qui sera produit par de telles usines sera parfaitement compétitif (étude Gaz de France, base économique 1981) en utilisant les kilowattheures marginaux d'heures creuses :

— Coût du Nm<sup>3</sup> d'hydrogène électrolytique sans et avec stockage : 49 et 60 CF (coût moyen du courant d'heures creuses admis, 5 CF/kWh).

— Coût du Nm<sup>3</sup> d'hydrogène obtenu à partir du gaz naturel : 73,5 CF (coût admis pour le gaz, 12 CF/kWh).

Ainsi, le développement entrepris devrait nous permettre

d'aborder, de façon concurrentielle, des marchés importants, notamment :

— *en France*, production d'ammoniac et de méthanol : déficit d'hydrogène prévisible dans la pétrochimie.

A titre indicatif, la consommation actuelle d'hydrogène en France est de l'ordre de 10 milliards de Nm<sup>3</sup> par an. La production correspondante d'hydrogène électrolytique nécessiterait une puissance installée d'environ 16 000 MW, ce qui montre l'importance du débouché potentiel pour l'électrolyse avancée, même en tablant sur une croissance nulle du besoin d'hydrogène, ce qui paraît peu vraisemblable.

En outre, les usines d'électrolyse pourront avantageusement se combiner avec des usines de gazéification de charbon ou de biomasse, en particulier pour la fabrication de méthanol : en effet, l'électrolyse apportera à la fois l'oxygène nécessaire à la gazéification et le complément d'hydrogène nécessaire pour ajuster la composition du gaz de synthèse CO + H<sub>2</sub>.

Par ailleurs, comme indiqué précédemment, la production d'hydrogène électrolytique apportera une solution au stockage saisonnier du courant électrique en complément du stockage à courte période offert par le pompage hydraulique, dont les sites restant à équiper deviennent de plus en plus rares.

— *A l'étranger*, en particulier dans les pays en voie de développement pour la valorisation des ressources hydrauliques, où les débouchés pour le courant électrique n'existent pas encore, ou sont très éloignés, ce qui conduit à un coût prohibitif pour le transport de l'énergie.

L'hydrogène électrolytique permettra alors, éventuellement en association avec la gazéification de la biomasse, que nous développons également (déchets de bois, plantes annuelles), de créer sur place, à partir de leurs ressources naturelles, des unités produisant les combustibles et carburants de synthèse dont ces pays ont le plus grand besoin.

## 4. PROGRAMME DE DÉVELOPPEMENT CREUSOT-LOIRE

Le programme de Creusot-Loire comprend 3 étapes β

*Ce qui a été réalisé :*

- Etudes de faisabilité avec SODETEC/RTI,
- Etude, construction et essais d'un pilote de 25 kW,
- Définition d'un pilote de 2 MW,
- Financement à 50 % par DGRST-EDF-GDF.

*Ce qui a commencé :*

- Recherches et conception générale et enfin construction d'un pilote de 2 MW à 50 électrodes,
- Essais du pilote de 2 MW parfaitement modulaire (2 ans),
- Etude de la mini-usine de 20 MW.

*Projet final :*

- Projet d'une unité industrielle de 300 MW ou 15 mini-usines de 20 MW avec

densité de courant : 10 kA/m<sup>2</sup>

production : 68 000 Nm<sup>3</sup>/h à 70 bars

rendement en courant : 97 %

puissance d'auxiliaires : 2,2 MW

consommation spécifique : 4,9 kWh/Nm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>.