



AMBASSADE DE FRANCE EN ALLEMAGNE

Le Conseiller à l'Energie Atomique et aux Energies
Alternatives CEA/EC/JCP/12-001

Berlin, le 24 janvier 2012

Le Conseiller pour la Science et la Technologie
SST/EC/NC/12-011

Rédacteur :

Edith CHEZEL, Chargée de Mission Energies

Le stockage chimique de l'énergie : développement d'une filière hydrogène ou renforcement de la filière méthane ?

Contexte

L'intermittence du vent et du rayonnement solaire constitue en Allemagne un point clef du débat énergétique. L'idée d'utiliser les excès de production d'électricité (en période de fort vent ou de fort rayonnement) pour alimenter les périodes de sous-production, revient à poser la question du stockage de l'énergie. Aucune solution n'existe aujourd'hui pour stocker durablement de l'électricité (sauf en petite quantité, dans les batteries). Il existe en revanche des possibilités de transformer l'électricité ainsi produite en une autre forme d'énergie. C'est le principe mécanique des stations de pompage turbinage par exemple.

La technologie "power to gas" est une forme de stockage chimique de l'énergie. Elle consiste à utiliser les surplus d'électricité éolienne ou solaire pour produire de l'hydrogène par électrolyse de l'eau. L'hydrogène peut ensuite être utilisé de différentes façons: soit pour alimenter directement des voitures à hydrogène, soit combiné avec du dioxyde de carbone pour produire du méthane ou encore servir à l'élaboration d'autres produits chimiques (partie 1). Ces trois solutions sont actuellement à l'état d'expérimentation en Allemagne et aucune ne semble privilégiée. Leur évaluation a fait l'objet d'une conférence organisée par l'agence fédérale des réseaux (BNA) et a déterminé le lancement d'une initiative de recherche regroupant 14 instituts et entreprises (partie 2). Le développement technologique et celui des réseaux, ainsi que l'acceptation des consommateurs de la voiture à hydrogène compteront pour beaucoup dans le choix de la filière la plus pertinente mais son développement généralisé reste inenvisageable avant 2030.

1 – Production d'hydrogène et application pour le transport : La centrale hybride de Prenzlau (Brandebourg)

La construction de la centrale pilote de Prenzlau a été motivée par la volonté de trouver une solution simple au stockage d'énergie. Cette centrale hybride¹ délocalisée combine la production d'électricité, de gaz et d'hydrogène, de plusieurs installations comprenant des éoliennes, une centrale biogaz et un système d'électrolyse de l'eau. L'électricité générée lors des pics production éolienne est utilisée pour produire par électrolyse de l'hydrogène, qui sera stocké sur place. Lorsque le vent ne suffit pas à produire l'électricité, la centrale biogaz prend le relais.

A ce jour, cette centrale hybride est unique en son genre. Le montant total de l'investissement s'élève à 21 millions d'euros, subventionnés par le Land de Brandebourg et le Ministère fédéral des transports. La centrale est gérée par Enertrag (développeur de projet), en partenariat avec Vattenfall, la Deutsche Bahn et Total.

Cette centrale, a représenté un enjeu de visibilité pour la réussite du tournant énergétique, comme le montre l'attention politique dont elle a fait l'objet. Après qu'Angela Merkel (CDU) a posé la première pierre en avril 2009, elle a été inaugurée le 25 octobre 2011 à Prenzlau (Nord Est de l'Allemagne, frontière polonaise) par le Ministre Président du Land de Brandebourg, Matthias Platzeck (SPD) et de nombreux représentants issus des milieux économiques et politiques.

L'hydrogène produit sera utilisé dans des piles à combustible² pour promouvoir une mobilité décarbonée. Différents modèles de piles à combustibles et de voitures ont été développés par Audi, Honda, Mercedes et Toyota (projet CEP - Clean Energy Partnership à Berlin). Les configurations actuelles permettent de disposer d'une autonomie de 400 km à 800 km (selon les modèles et l'utilisation), un avantage important comparé aux batteries Lithium-ion utilisées pour le stockage de l'électricité des véhicules tout électriques. Enfin, le rechargement des bouteilles d'hydrogène disposées dans le véhicule ne prend que trois minutes. Cette filière est largement soutenue par Total, partenaire du programme pilote de Prenzlau ainsi que du projet CEP, l'entreprise a déjà installé deux stations à hydrogène à Berlin et une à Hambourg pour permettre l'utilisation de l'hydrogène produit à Prenzlau par les consommateurs urbains.

2 - De l'hydrogène au méthane, vers une utilisation du réseau gazier pour stocker l'électricité: Le projet "Power to gas" à Werlte (Basse-Saxe)

L'hydrogène produite par électrolyse de l'eau (lors des pics de production d'énergie renouvelable) peut également être combiné à du CO₂ (qu'il est possible de récupérer au cours du processus de méthanisation dans une centrale de biogaz), afin de produire directement du méthane. Celui-ci ne constitue pas une solution de mobilité, mais pourrait directement être injecté dans les réseaux gaziers existants, intégrant ainsi l'électricité et le gaz dans un même système. Ce procédé dit "power to gas" a été développé en Allemagne par l'IWES (Institut Fraunhofer pour l'énergie éolienne à Kassel) et le ZSW (Centre de recherche sur l'énergie solaire et l'hydrogène de Bade-Wurtemberg). Ces recherches sont transposées à l'échelle industrielle en collaboration avec Audi et l'entreprise autrichienne Solar Fuel Technology ayant une filiale à Stuttgart. L'installation pour Audi à Werlte (Basse-

¹ En allemand, ce type de projet est appelé indistinctement centrale combinée (Kombikraftwerke), centrale hybride (Hybridkraftwerk) ou centrale virtuelle (virtuelle Kraftwerke).

² Dans les véhicules utilisés, l'oxydation de l'hydrogène dans une pile à combustible fournit l'électricité nécessaire à l'alimentation d'un moteur électrique. Ce processus n'émet pas de CO₂.

Saxe), qui devrait être complètement opérationnelle en 2013, aura une capacité de 6,3 mégawatts et devrait produire 4000m³ de méthane par jour.

L'exploitation du méthane paraît plus facile que celle de l'hydrogène car la filière est déjà existante mais le bilan carbone du méthane apparaît discutable. D'un côté, on utilise une énergie "verte" (d'origine renouvelable, sans émissions de CO₂ comme l'éolien) pour produire un carburant émetteur de CO₂ lors de sa combustion. D'un autre côté, pour produire le méthane il faut disposer de CO₂. Celui provenant d'une centrale de biogaz aurait de toute façon été relâché dans l'atmosphère. Sa capture et sa réutilisation dans le procédé "power to gas" constitue donc une "deuxième vie" pour ce CO₂, avant qu'il ne soit effectivement émis dans l'atmosphère. Cette hypothèse pourra être discutée si le stockage du CO₂ (CCS) venait à être effectif.

3 – Production d'hydrogène et utilisation dans l'industrie chimique :

Le projet CO₂RRECT : CO₂-Reaction using Regenerative Energies and Catalytic Technologies à Niederaussem (Rhénanie du Nord-Westphalie)

Dans le cadre du projet CO₂RRECT, la production d'hydrogène par électrolyse de l'eau (lors des pics de production d'énergie renouvelable) est combinée avec l'utilisation de CO₂, capté dans les fumées de centrales thermiques à charbon. Lancé en 2010 et financé par le Ministère fédéral de la recherche (BMBF) à hauteur de 11 millions d'euros, ce projet allie RWE (un des quatre grands énergéticiens allemands) et Siemens (développement électrolyseur et catalyseur) à Bayer (industrie chimique et pharmaceutique). Plusieurs universités sont également partenaires du projet³. Siemens prévoit d'installer en septembre 2012 un système d'électrolyse à proximité de la centrale de Niederaussem (Rhénanie Nord-Westphalie). De son côté RWE a développé depuis plusieurs années différentes méthodes de captage de CO₂ dans les fumées issues de la combustion du charbon. Le projet vise à obtenir des produits intermédiaires (monoxyde de carbone, acide formique) afin de développer des matériaux plastiques et des nouveaux carburants à destination de l'industrie chimique. C'est dans cette dernière partie que Bayer intervient.

Un autre volet du projet CO₂RRECT consiste également pour Siemens à développer des turbines pouvant fonctionner avec de l'hydrogène, afin de produire de l'électricité à grande échelle. Il s'agit d'optimiser les matériaux et les conditions de la combustion car l'hydrogène a des propriétés thermodynamiques complexes impliquant notamment des températures très élevées lors de la combustion. Enfin, les recherches consistent également à limiter au maximum l'émission d'oxyde d'azote.

³ L'université RWTH d'Aix-la-Chapelle, l'université technique de Dresde, l'université de Stuttgart, l'université technique de Darmstadt, l'université technique de Dortmund, l'université de la Ruhr à Bochum, l'institut Leibniz pour la catalyse de l'université de Rostock, la société Max Planck (MPG) et l'institut technologique de Karlsruhe (KIT).

Partie 2 – Evaluation des solutions actuelles et enjeux pour la recherche : Lancement de "l'initiative pour l'hydrogène du vent"

Le 23 novembre 2011 s'est tenue à Berlin la première journée de conférence dédiée à la technologie "power to gas". Co-organisée par l'Agence fédérale des réseaux et l'Institut Fraunhofer pour l'énergie éolienne et de techniques de systèmes énergétiques (IWES), cette conférence a permis de passer à la loupe cette nouvelle technologie de stockage de l'énergie : aspects chimiques, techniques, économiques et stratégiques ont tous été abordés. Le nombre important de participants et leurs origines diverses (gestionnaires de réseaux, industries, administrations, ONG) ont démontré sans ambiguïté à la fois les espoirs et les défis que présente cette nouvelle technologie.

- Un potentiel important à intégrer dans un système énergétique global

Dans l'état actuel de la technique et des connaissances, le réseau gazier représente le plus grand potentiel de stockage de l'énergie électrique d'origine renouvelable. Sa capacité de stockage est largement supérieure à celle estimée pour les batteries dans les scénarios d'intégration de l'électro-mobilité au système énergétique, et ce quand bien même l'Allemagne disposerait de 42 millions de véhicules électriques⁴. La capacité des batteries de véhicule serait selon l'IWES pourtant elle-même supérieure à celle des stations de pompage-turbinage⁵.

Malgré tout, il apparaît évident que les stations de pompage-turbinage ainsi que les véhicules électriques constituent des solutions de stockage direct et à court terme (de l'ordre de l'heure ou de la journée) qui sont non négligeables. Un système énergétique fonctionnel devrait combiner ces différentes possibilités, notamment parce qu'il est aussi plus facile de stocker (et par conséquent de réutiliser) de l'électricité sous forme électrique.

- Pertinence de la technologie "power to gas" pour le transport ?

Si la filière hydrogène est jugée intéressante par certains (car le système de production est plus simple et plus court que pour le méthane), elle est pour d'autres jugée peu pertinente pour l'instant, au vue du faible nombre de consommateurs utilisant des voitures hydrogènes.

Cependant, le constructeur automobile AUDI semble lui très intéressé par la filière "power to gas", et veut évaluer sa consommation énergétique sur l'ensemble du cycle de vie des véhicules (production-utilisation-recyclage). AUDI a ainsi constaté que la production des batteries pour les véhicules électriques est tellement coûteuse que, sur un cycle complet, elle émettrait autant d'émissions que les voitures fonctionnant au gaz.

- Aspects économiques de la technologie "power to gas" : réglementation ou concurrence ?

La présentation lors de la conférence de l'association fédérale de l'économie de l'énergie et de l'eau (BDEW) a mis en exergue l'état actuel de la régulation du marché de l'énergie : les producteurs et les distributeurs sont séparés depuis la libéralisation du marché de l'énergie, quelle sera alors la place du stockage sur ce marché ? Alors que les producteurs d'énergies renouvelables sont actuellement fortement subventionnés, les gestionnaires de réseaux vont-ils trouver un intérêt à intégrer cette technologie de stockage ? Faut-il également la subventionner ou doit-elle être commercialisable ? Un projet de législation serait en cours de développement afin de stimuler le développement des installations de stockage (sur le principe des tarifs d'achat garantis accordé à l'énergie renouvelable).

⁴ L'objectif gouvernemental actuel est d'atteindre 1 million de véhicule en 2020.

⁵ Alors que la capacité du réseau est de 20milliards de mètre cubes, permettant de redistribuer 106TWh, celle des stations de pompage-turbinage est de 7GW installés pouvant redistribuer 40GWh.

Actuellement, les excédants d'électricité d'origine renouvelables produits sont rémunérés à tarifs fixés⁶. Il est donc proposé d'obliger les producteurs à les valoriser, ce qui les inciteraient à aller vers la technologie "power to gas". Cela ne résoudra pourtant pas la question du surplus de travail engendré pour les gestionnaires de réseaux et leur rémunération.

- Une technologie à améliorer

L'efficacité des systèmes power to gas a aussi été remise en cause lors de la conférence de novembre 2011. A l'heure actuelle les systèmes existants (comme la centrale hybride de Prenzlau) n'ont pas un rendement suffisant pour être généralisés, notamment à cause de leurs faibles capacités.

Le 7 décembre 2011, le DLR (Centre allemand de recherche aérospatiale) a lancé conjointement avec différents partenaires de la recherche et de l'industrie⁷ une nouvelle initiative de recherche dénommée "Performing Energy – Bündnis für Windwasserstoff" (Créer l'énergie – Alliance pour l'hydrogène du vent).

Trois projets de démonstration vont être développés en Brandebourg et en Schleswig-Holstein pour évaluer les points suivants : la production d'hydrogène à grande échelle, son stockage dans le réseau gazier et la re-production d'électricité. C'est-à-dire l'utilisation de l'hydrogène pour produire de l'électricité dans des turbines à gaz ou pour les piles à combustibles. Ceci implique également la recherche de solutions de stockage de l'hydrogène dans des mines de sel. Le DLR participera aux trois projets, notamment pour travailler à l'amélioration des revêtements d'électrodes pour l'électrolyse alcaline (département de techniques thermodynamiques) ainsi qu'au développement des électrolyses polymères. Ces recherches devraient permettre de produire de l'hydrogène de manière constante malgré la fluctuation de la production d'origine éolienne ainsi que de baisser les coûts en évitant d'utiliser du titane coûteux pour les électrodes. Le département "Analyse de système" du DLR évaluera les choix stratégiques quant à la localisation des installations.

Conclusions

La technologie "power to gas" constitue une solution innovante et intéressante pour le stockage de l'énergie mais qui suppose encore de nombreuses étapes avant son intégration dans un système énergétique global. La construction de centrales présentant un fort caractère de flexibilité pour accompagner les énergies renouvelables, comme les centrales à gaz, biomasse et surtout la production combinée d'électricité et de chaleur doit constituer la première étape. Le développement des réseaux (construction de nouvelles connexions) et leur passage vers une gestion intelligente (smart grids) seraient les étapes suivantes. Selon l'IWES, l'utilisation des technologies de stockage de courtes durées (pompage-turbinage et batteries) et de longues durées (réseaux gaziers), n'interviendront que dans un troisième temps. Le déploiement généralisé de la technologie "power to gas" n'est pas envisagé en Allemagne avant 2030.

Jean-Claude Perraudin

Mathieu J. Weiss

⁶ La loi EEG de soutien aux énergies renouvelables assure à chaque producteur une rémunération stable pour chaque mégawattheure produit, ainsi qu'un accès prioritaire aux réseaux d'électricité. Ce système d'incitation mis en place tend à atteindre ses limites avec l'augmentation du nombre d'installations. Une réforme de la loi EEG pour une véritable intégration au marché des énergies renouvelables devrait revenir sur ce point pour les futures installations.

⁷ Les partenaires du projet "Performing Energy – Bündnis für Windwasserstoff" sont les suivants : l'Université technique de Brandebourg, l'Association de protection de l'environnement Deutsche Umwelthilfe e.V., l'Institut Fraunhofer des systèmes énergétiques solaires (ISE) de Fribourg et les entreprises ENERTRAG AG, GASAG Berliner Gaswerke AG, DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, hySOLUTIONS GmbH, Linde AG, NOW GmbH Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie, Siemens AG – secteur industrie et secteur énergie, Total Deutschland GmbH, Vattenfall Europe Innovation GmbH ainsi que Vattenfall Europe Windkraft GmbH. Il est à noter que trois d'entre eux sont aussi partenaires du projet de centrale hybride de Prenzlau [3], conduit par Enertrag, Vattenfall et Total, et que Siemens est également partenaire de CO2RECT.