

Stockage d'énergie et vecteur hydrogène : des moyens de flexibilité au service des systèmes énergétiques intelligents



Karl Axel STRANG, PhD
(N99, MS Stanford 2003, PhD Stanford 2009)

Chargé de mission filières vertes – réseaux énergétiques intelligents, hydrogène et stockage de l'énergie
Direction Générale de l'Énergie et du Climat
Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

Résumé

Au sein des systèmes énergétiques d'aujourd'hui, le stockage d'énergie est un des moyens de flexibilité pour répondre aux aléas de production, de transport, de distribution et d'usages énergétiques. De nouvelles technologies de stockage d'énergie offrent des perspectives intéressantes à la fois en termes de services rendus aux systèmes énergétiques intelligents, et en termes d'opportunités de création de nouvelles filières industrielles.

De quels moyens de stockage d'énergie traite-t-on ici ?

Le présent article se concentre sur les technologies et moyens de stockage d'électricité, de chaleur et de froid, qui font l'objet d'un regain d'intérêt dans une perspective de modification significative des mix énergétiques et des architectures de systèmes énergétiques. Le stockage d'électricité, d'une part, permet d'apporter une capacité de production à faibles émissions en soutien des énergies intermittentes (éolien, solaire), pour répondre à des aléas systémiques (services de régulation du système, secours, systèmes de haute disponibilité) ou pour optimiser les usages en fonction des signaux de marché (arbitrage économique).

Le stockage d'énergie sous forme de chaleur ou de froid, d'autre part, permet d'optimiser le dimensionnement d'installations et leurs coûts opérationnels face à une grande variation temporelle (journalière ou saisonnière) de la demande.

Pourquoi a-t-on besoin de stockage d'électricité et d'énergie thermique ?

Le stockage de l'énergie s'inscrit dans un contexte où :

- l'utilisation de l'énergie électrique s'accroîtra fortement dans les prochaines décennies afin de réduire globalement les utilisations d'énergies fossiles ;
- dans un souci de réduire les émissions de gaz à effet de

serre, la part des énergies renouvelables intermittentes dans la production d'énergie électrique s'accroîtra également fortement ;

- l'intensité de la pointe de demande en électricité devrait augmenter fortement si les habitudes de consommation ne sont pas modifiées.

Ces trois aspects auront un impact majeur sur la sécurité des systèmes électriques, déjà soumis à de fortes tensions lors des pointes saisonnières. Le stockage de l'énergie, en permettant de réduire la quantité nécessaire en moyens de pointe et en fournissant d'importants services aux réseaux, apparaît comme l'une des solutions complémentaires à la maîtrise de la demande en énergie et au déploiement de réseaux électriques.

L'industrie du stockage d'énergie a été dominée depuis les années 70 par le déploiement de stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) et par les systèmes de continuité d'alimentation (dits UPS pour Uninterruptible Power Systems). Cette industrie retrouve un fort regain d'intérêt auprès des opérateurs de réseaux d'électricité et auprès des opérateurs d'installations industrielles et de bâtiments tertiaires afin d'assurer une meilleure qualité d'approvisionnement et d'intégrer les nouvelles technologies de gestion de l'énergie, notamment en lien avec le déploiement d'énergies renouvelables réparties. Le marché du stockage d'énergie voit également l'émergence de quatre nouveaux segments dans les cinq à dix prochaines années :

- le stockage d'énergie dans les procédés industriels sous forme thermique ou chimique, permettant d'offrir une capacité d'effacement ou de décalage d'appels de puissance dans le cadre de l'optimisation des consommations énergétiques, notamment électriques ;
- le stockage d'énergie couplant les réseaux électriques et gaziers, via l'injection d'hydrogène issu d'électrolyse ou via la production de méthane de synthèse par méthanation. Cette voie de stockage est d'ailleurs l'objet de l'initiative «Power To Gas» animée par l'agence allemande DENA (www.powertogas.info) ;
- le stockage d'électricité pour les quartiers et bâtiments résidentiels dans le cadre du déploiement des bâtiments et îlots intelligents ou à énergie positive ;
- le stockage mobile d'électricité via les véhicules électriques dans les systèmes dits V2G pour vehicle-to-grid.

En fonction des contraintes et des besoins, l'énergie peut ainsi être stockée sous différents vecteurs (électricité, gaz, hydrogène, chaleur, froid) près du site de production, sur les réseaux énergétiques ou près des usages.

Quelles technologies pour stocker l'énergie ?

Les solutions de stockage d'énergie se divisent en quatre catégories principales :

- l'énergie mécanique potentielle (barrage hydroélectrique, Station de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP), STEP en façade maritime, stockage d'énergie par air comprimé (CAES)) ;
- l'énergie mécanique cinétique (volants d'inertie) ;
- l'énergie électrochimique (piles, batteries, condensateurs, vecteur hydrogène) ;
- l'énergie thermique (chaleur latente ou sensible).

Les acteurs industriels en France sont positionnés sur l'ensemble de ces catégories avec de grands acteurs sur les STEP et les batteries industrielles, et avec des sociétés innovantes sur les autres technologies.

Le nouveau rôle du vecteur hydrogène dans les systèmes énergétiques

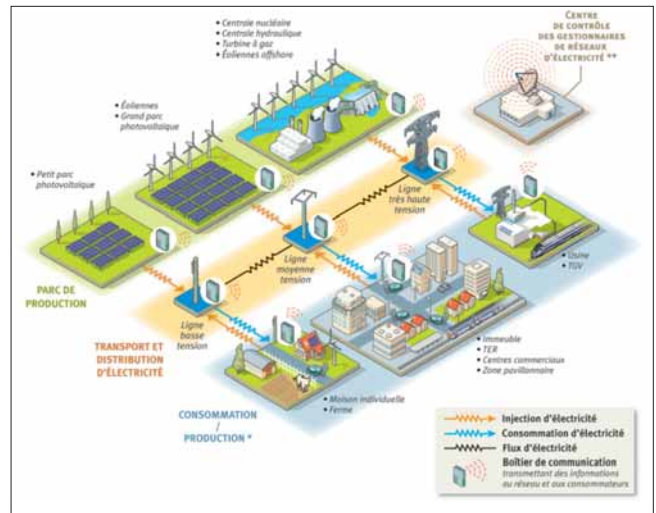
À condition qu'il soit produit à partir d'une source d'énergie décarbonée, l'hydrogène est un vecteur énergétique sans émission de gaz à effet de serre qui peut être utilisé dans de nombreuses applications. Principalement utilisé dans l'industrie, les applications énergétiques potentielles de l'hydrogène sont très nombreuses et ont été regroupées dans le graphique 1 ci-dessous.



Graphique 1 : Cartographie des usages de l'hydrogène en tant que vecteur énergétique (Piles à Hydrogène : les perspectives pour demain, DREAL Rhône-Alpes, octobre 2012)

Les technologies de production d'hydrogène par électrolyse et de pile à combustible sont aujourd'hui très flexibles avec de très bonnes disponibilités. L'hydrogène se présente ainsi comme un vecteur énergétique pertinent à terme dans les architectures exploitant la flexibilité entre différents réseaux énergétiques. Un tel exemple est illustré par le graphique 2 décrivant la «Hybrid Power Plant» d'Enertrag à Berlin : lorsque cela est pertinent, l'hydrogène pourrait ainsi être produit à partir d'électricité renouvelable pour être injecté dans des réseaux de gaz ou stocké en vue d'une distribution en tant que carburant ou agent chimique, voire d'une réinjection sous forme d'électricité. La production d'hydrogène et celle d'électricité à partir d'hydrogène étant exothermique, la valorisa-

tion de la chaleur améliorerait d'autant plus l'intérêt des architectures. L'hydrogène est ainsi un des rares vecteurs énergétiques qui permette un arbitrage économique entre les marchés de l'électricité et des autres énergies.



Graphique 2 : Illustration d'une «hybrid power plant», plate-forme multi-usages de l'hydrogène énergie, conçue par Enertrag et Total à l'aéroport de Berlin. (www.fuelcelltoday.com/news-events/news-archive/2012/april/hybrid-power-plant-now-supplying-green-hydrogen-to-fuel-cell-vehicles-in-berlin)

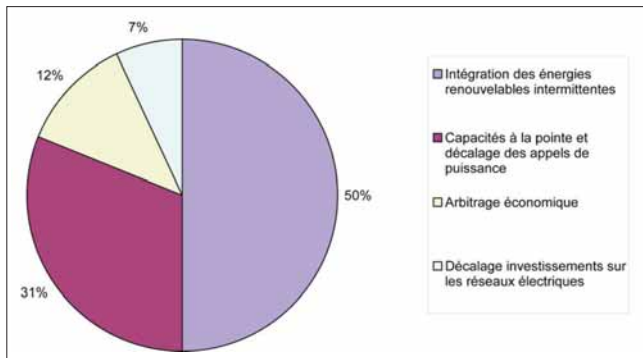
Quelles perspectives pour le marché mondial du stockage d'énergie ?

Le marché du stockage d'électricité pour les réseaux électriques est en forte croissance, au niveau mondial et plus particulièrement en Chine, avec d'importantes perspectives d'investissements de la part des opérateurs de réseaux et des énergéticiens, afin de permettre notamment l'intégration d'une plus grande part d'énergies intermittentes. En Europe, le marché est aussi tiré par la rénovation des STEP existantes et la conversion de barrages hydrauliques en STEP. Comme illustré dans le graphique ci-dessous, ces installations de stockage d'électricité devraient se répartir selon les fonctionnalités suivantes :

- l'intégration des énergies renouvelables intermittentes, notamment l'éolien ;
- les capacités à la pointe et le décalage des appels de puissance ;
- l'arbitrage économique (recharge en périodes de faibles prix, revente en périodes de prix élevés) ;
- le décalage d'investissements sur les réseaux électriques.

Quels sont les verrous au déploiement ?

Les technologies de stockage d'énergie décrites ci-dessus sont à des stades de maturité technologique et industrielle différents. Outre les travaux de recherche et développement visant à lever les verrous techniques, d'importants travaux de démonstration sont en cours. Ceux financés par l'ADEME dans le cadre des Investissements d'Avenir visent plus particulièrement à valider la pertinence technico-économique des composants et des systèmes testés.



Graphique 3 : Répartition par fonctionnalité des capacités de stockage d'électricité installées entre 2011 et 2021 (Rapport «Pétrole, gaz, énergies décarbonées : rapport sur l'industrie», Direction Générale de l'Énergie et du Climat, 2012)

Outre des coûts d'investissements aujourd'hui élevés mais en cours de réduction via leur industrialisation, les facteurs limitant le déploiement des solutions de stockage d'énergie concernent :

- les modèles économiques, notamment la répartition des gains et coûts entre les différentes parties prenantes du système électrique ;
- les incertitudes à moyen terme sur les amplitudes de variations journalières et saisonnières des prix des marchés d'électricité ;
- les évolutions réglementaires concernant l'insertion et la gestion des productions d'énergies intermittentes et des installations de stockage.

La valorisation du stockage d'électricité sur les marchés de l'électricité n'a pas permis au cours des dernières années de susciter des investissements dans de nouvelles capacités de stockage en France. La création du mécanisme de capacité dans le cadre de la loi NOME est susceptible d'ouvrir un espace économique aux solutions de stockage d'électricité en apportant une nouvelle source de revenus, complémentaires

de ceux tirés des arbitrages économiques liés à la vente de l'électricité. Sur les systèmes insulaires, des appels d'offre menés par la CRE en 2011 et 2012 pour le déploiement de parcs éoliens et photovoltaïques incluent un volet stockage afin de contribuer à la stabilité de ces systèmes. Ces appels d'offre sont parmi les premiers de ce genre au niveau mondial et ouvrent la voie vers une industrialisation progressive des solutions de stockage d'électricité.

Quel potentiel de création de filière industrielle ?

La taille de marché de ces appels d'offre n'est toutefois pas suffisante pour susciter une industrialisation à grande échelle des technologies de stockage et ainsi une forte réduction des coûts. Le préliminaire à ces investissements dans l'industrialisation est une visibilité à moyen et long terme sur les perspectives de marché.

La grande volatilité des marchés de l'énergie, et plus particulièrement de l'électricité en Europe, couplée aux incertitudes économiques sont peu propices à de telles décisions d'investissements. Cependant, les pays où les contraintes de réseaux sont fortes, que les solutions classiques notamment de développement de réseaux ne pourraient pas satisfaire à temps, devraient être les premiers grands marchés clients des solutions de stockage.

Pour lever ces verrous, une étude co-financée par l'ADEME, la DGCIS et les industriels, regroupés au sein du Club Stockage de l'ATEE, est actuellement en cours pour étudier le potentiel de marché du stockage d'énergie en France et des modèles d'affaire associés. Ses résultats devraient apporter des éléments factuels sur le rôle du stockage dans la transition énergétique et sur l'opportunité de créer en France de nouvelles filières industrielles basées sur ces technologies pour cibler le marché européen, voire mondial. ■

