



Fiche

LES TECHNOLOGIES DU STOCKAGE

Le stockage de l'énergie est multiforme. On peut stocker de l'énergie pour la restituer en mobilité électrique, on peut également stocker de l'énergie sous forme de thermies, d'énergie potentielle... Ces modes de stockage peuvent jouer un rôle important dans le système électrique¹. On se focalisera néanmoins ici sur le stockage d'électricité « pour l'électricité », c'est-à-dire pour restitution directe dans le système électrique. Des STEP aux batteries, la gamme des technologies est large.

LE STOCKAGE : UN LEVIER D'OPTIMISATION DE LA GESTION DU SYSTÈME ÉLECTRIQUE

Le rôle « historique » du stockage d'électricité est de stocker pendant les périodes de faible demande (où elle peut être produite à bas coût) pour la restituer aux moments de forts appels de puissance, en évitant alors des coûts de production plus élevés.

Le stockage est pertinent dès lors que l'ensemble des économies (de coût de production et d'émissions de CO₂) qu'il permet de réaliser est supérieur à son coût fixe d'investissement et d'exploitation. Il y a donc d'autant plus d'intérêt à développer le stockage que le contraste de coût de l'électricité est élevé entre les périodes de stockage et les périodes de restitution, et d'autre part que le système fait face à des besoins de nouvelles capacités que le stockage peut permettre d'éviter. Le rendement de cette restitution et les « constantes de temps » du stockage qui caractérisent la durée pendant laquelle il peut restituer de l'électricité sont donc des facteurs importants de sa performance économique.

Le mix électrique de la France permet de remplir les stockages en bénéficiant d'une électricité peu chère et peu carbonée lorsque la demande est faible et d'éviter le recours à des technologies de pointe carbonées (centrales au fioul et au gaz notamment) et coûteuses en restituant cette électricité pendant les épisodes de forte demande. Les capacités de stockage permettent donc en France de diminuer le coût moyen de production de l'électricité et d'éviter des émissions de CO₂. Le parc de Stations de Transfert d'Énergie par Pompe (STEP) est ainsi utilisé en pompant de l'eau pendant la nuit et le week-end vers des réservoirs amont, eau qui est ensuite turbinée à la pointe pendant les jours de la semaine.

La France n'est bien sûr pas un cas à part : les STEP ont logiquement trouvé place dans des systèmes ayant une part importante d'hydraulique et nucléaire (pays scandinaves, Suisse, Autriche,...). A contrario, là où le mix est très homogène et fossile (exemple du charbon en Pologne), le stockage a peu d'intérêt.

A court terme, en Europe, dans un contexte de surcapacité et de faibles contrastes de prix, il n'y a pas d'intérêt économique à développer de nouvelles STEP ou d'autres moyens de stockage. En particulier, si stocker des kWh de production renouvelable disponible peut paraître intéressant, leur déstockage ayant une valeur réduite, il ne permet pas de rentabiliser une installation : renoncer à injecter ces kWh sur le réseau est, dans les conditions actuelles, préférable au fait de construire un nouvel ouvrage de stockage.

A moyen-long terme, le suréquipement devrait être résorbé. De nouvelles STEP peuvent retrouver l'intérêt économique exposé précédemment. Dans un système en développement, le prix du CO₂ ajoute une valeur supplémentaire au stockage, dans la mesure où les kWh stockés sont décarbonés, et que leur déstockage économise des émissions de CO₂. Le potentiel de développement reste néanmoins limité, tant côté offre (sites favorables) que côté demande (l'intérêt à réaliser des stockages se réduisant avec la puissance de stockage).

Par ailleurs, si les transferts d'énergie hebdo-journaliers sont le service « historique » majeur que le stockage fournit au système électrique, il en existe d'autres. On pense ici à des usages de très courte durée comme la contribution à l'équilibrage du système électrique que certaines batteries électrochimiques pourraient fournir (batteries au plomb ou lithium-ion). Tant le progrès sur ces technologies que l'insertion massive des énergies renouvelables intermittentes dans le système électrique ont de fait contribué à donner un regain d'intérêt à ces questions avec la croissance des besoins de flexibilité.

On peut également mentionner des applications comme l'alimentation des antennes-relais de télécommunication ou certains foyers isolés et éloignés des centres de consommation pour lesquels le raccordement au réseau serait socialement trop coûteux. Là encore le stockage, couplé avec une source de production locale, peut faire sens.

¹ Notons ainsi que le stockage thermique est aussi un levier de flexibilité du système en France, avec aujourd'hui un parc de logements résidentiels équipé de 8 millions de ballons chauffe-eau électriques raccordés sur le signal "heure creuse". Ceux-ci offrent ainsi une modularité de puissance de 8 GW et une capacité de stockage de 60 GWh à un coût faible. La réglementation thermique 2012 introduit progressivement dans le parc résidentiel neuf, le chauffe-eau thermodynamique, à la fois plus performant d'un point de vue énergétique et moins performant en termes de capacité de stockage du fait d'une consommation d'énergie d'électricité réduite.

LES TECHNOLOGIES EN PRÉSENCE

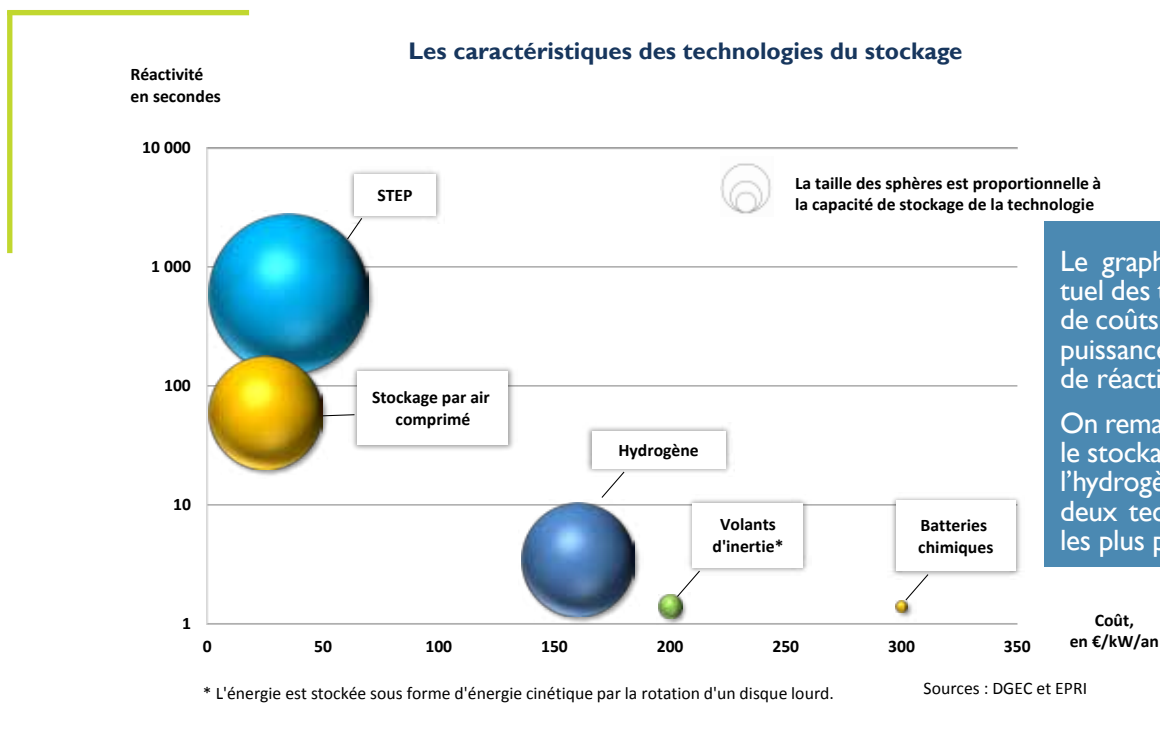
Les différentes technologies de stockage sont caractérisées par une puissance typique (du MW au GW), une énergie stockée (du kWh au GWh), une durée de vie (de quelques années à plusieurs décennies), ainsi que par une maturité technologique et un coût. Les principales technologies de stockage existantes sont les suivantes :

- Les Stations de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP)
- Le stockage par air comprimé (CAES²)
- Le stockage par l'hydrogène
- Les volants d'inertie
- Les batteries

Actuellement, seule la technologie des STEP est mature³. Le principe des STEP consiste à pomper de l'eau dans un bassin supérieur pour stocker l'électricité, et à turbiner pour la réinjecter dans le réseau. Il en existe 4,3 GW⁴ en France aujourd'hui. Si le potentiel géographique de STEP n'est pas encore complètement exploité en France, il est relativement limité en termes économiques du fait de coûts d'investissements élevés.

Le CAES (air comprimé) est une technologie d'avenir dont les caractéristiques économiques (taille, puissance, capacité de stockage...) ressemblent à celles des STEP. Mais elle n'est pas mature. Son développement reste conditionné par des efforts de R&D, la réalisation de démonstrateurs (allant au-delà des deux seuls ouvrages existants dans le monde en Allemagne et aux États-Unis), et la disponibilité de sites de stockage.

Les autres technologies nécessitent davantage d'efforts de RD&D (Recherche, Démonstration & Développement), notamment sur la chimie des batteries. Les technologies non matures peuvent cependant être compétitives pour certaines applications. Ainsi, les batteries, dont les coûts sont encore trop élevés s'il faut les dimensionner pour fournir des services de transfert d'énergie, peuvent être adaptées et économiques pour des applications de « flexibilité » (gestion des « réserves », certains services « système » tels que la tenue de fréquence) ou pour des applications isolées du réseau électrique.



Le graphique illustre l'état actuel des technologies en termes de coûts par kW⁵, de gamme de puissance (taille des bulles) et de réactivité.

On remarque qu'à part les STEP, le stockage par air comprimé et l'hydrogène sont aujourd'hui les deux technologies de stockage les plus prometteuses.

STOCKAGE D'ÉLECTRICITÉ ET STOCKAGE D'ÉNERGIE

Selon la technologie de stockage, l'utilité pour le système électrique diffère.

Certaines technologies stockent de l'électricité pour restituer ultérieurement de l'électricité, comme le stockage par air comprimé ou par pompage (les STEP).

D'autres, comme la production d'hydrogène par électrolyse, permettent de stocker de l'énergie électrique sous une autre forme (l'hydrogène) destinée ensuite à se substituer à des énergies fossiles dans d'autres usages.

Ainsi, l'hydrogène produit par électrolyse constitue un vecteur de substitution de consommations d'énergies fossiles par de la consommation d'électricité.

² Compressed Air Energy Storage

³ Il est certes possible d'espérer des progrès marginaux sur les rendements, mais ceux-ci sont déjà de l'ordre de 80 %.

⁴ Puissance de pompage

⁵ Les batteries, les volants d'inertie et l'hydrogène pourraient connaître des évolutions significatives en termes de coûts.