

Le stockage de l'énergie aujourd'hui

Des usages qui se précisent et se diversifient et encore beaucoup de questions

Introduction

Claire Lajoie-Mazenc

RTE- Conseillère scientifique – Expert émérite Stockage,
SEE - Présidente du Club technique
"Stockage et nouveaux moyens de production"

En 2018, la REE a consacré un dossier au stockage par batteries dans les réseaux. Quatre ans après, il nous a semblé intéressant d'observer les progrès réalisés, notamment poussés par le fort développement des véhicules électriques et après l'annonce d'implantation en France de giga-factories de batteries.

Préambule : quoi de neuf depuis 2018 ?

Le thème stockage de l'énergie est un sujet récurrent, et a déjà fait l'objet de dossiers dans REE, en 2013 et 2018. Quoi de neuf donc dans ce domaine ? Sur le plan de la technologie, la famille des batteries lithium-ion continue de dominer le marché, et il n'y a pas de révolution ou de progrès technologique majeur qui nécessite un éclairage particulier. En revanche, l'offre de véhicules électriques s'est considérablement étoffée, poussée par une volonté politique forte de décarbonation rapide de ce secteur, alors que les systèmes stationnaires continuent de s'industrialiser et s'étendent là où ils trouvent une place économique ou une appétence des consommateurs. En parallèle, des études sur l'impact du développement de ces technologies et de nouvelles expérimentations continuent d'éclairer sur leurs possibilités et performances. Une nouveauté majeure concerne l'hydrogène, avec un regain

d'intérêt et donc de substantiels financements au niveau européen et national.

Donc si ce dossier 2022 ne prétend pas faire de révélations technologiques majeures, il vise à apporter une vision large et globale sur les grandes questions du stockage aujourd'hui, dans l'esprit des événements organisés par le Club technique « Stockage et nouveaux moyens de production » de la SEE depuis 2017.

Stockage de l'électricité ou de l'énergie ?

Le grand débat sur la nature de ce qui est réellement stocké, notamment dans des batteries électrochimiques, n'est plus vraiment d'actualité, ou plutôt il s'est complété de la question « sous quelle forme finale l'énergie sera-t-elle utilisée ? » avec la montée en puissance de l'hydrogène électrolytique, qui peut être utilisé directement par injection dans les réseaux de gaz, via des piles à combustible pour produire de l'électricité, ou

encore par transformation en un autre combustible ou carburant de synthèse : méthane, ammoniac, kérosène.

Quelle que soit la forme de l'énergie qui est stockée et la forme sous laquelle elle sera finalement utilisée, il est aujourd'hui clair que les technologies de stockage sont absolument nécessaires pour réussir la transition énergétique, que ce soit pour la décarbonation d'usages actuellement basés sur les produits pétroliers, comme la mobilité sous toutes ses formes, ou pour accompagner le développement des énergies renouvelables intermittentes.

Cette mutation s'accompagne d'un couplage de plus en plus important et nécessaire pour améliorer la flexibilité de réseaux jusque-là indépendants « électricité /gaz /chaleur voire transport ! ». Parallèlement, de nouvelles questions techniques et logistiques arrivent et doivent être résolues pour « passer à l'échelle » ces nouvelles technologies.

Le contenu du dossier

La mobilité est aujourd'hui la forme la plus présente et évidente du stockage d'énergie dans nos quotidiens : les véhicules électriques et hybrides rechargeables ont représenté 15 % du marché des véhicules particuliers en 2021, et devraient représenter fin 2022 – selon l'AVERE, l'association nationale pour le développement de la mobilité électrique – un parc cumulé de près d'un million de véhicules dont 60 % de véhicules électriques, soit près de 4 GWh. Ce développement nécessite en parallèle la mise en place d'un vaste et dense réseau de bornes de recharge et l'adaptation éventuelle du réseau électrique les alimentant. La bonne compréhension des besoins, en termes de localisation et de puissance, est donc importante et Enedis s'y attelle comme le présente l'article d'**Axel Nicolas Le Meignan** et **Adrien Herbin**.

A terme, il est considéré que la mobilité représentera 90 % de l'usage des batteries électrochimiques, avec une accélération liée à la fin de la commercialisation de véhicules thermiques en 2035 dans le cadre du paquet législatif Européen Fit for 55.

Il faut noter par ailleurs que la mobilité électrique touche également de façon plus surprenante le secteur des bicyclettes, avec une très forte croissance de la vente des vélos à assistance électrique (VAE). Les ventes ont bondi depuis la pandémie : ils ont représenté 660 000 vélos en 2021, soit 24 % des ventes et 60 % de la valeur. Pour mémoire, les VAE représentaient moins de 50 000 ventes en 2012, 100 000 en 2020 et plus de 500 000 en 2021. Il est vrai que cette assistance électrique a permis une extension de l'usage du vélo, que ce soit pour les déplacements urbains, commerciaux – grâce aux vélos cargos- ou touristiques, en s'extrayant de la difficulté physique parfois limitante des dénivelés. Si l'énergie unitaire de chaque VAE est négligeable par rapport aux véhicules élec-

“ A terme, il est considéré que la mobilité représentera 90 % de l'usage des batteries électrochimiques, avec une accélération liée à la fin de la commercialisation de véhicules thermiques en 2035 dans le cadre du paquet législatif Européen Fit for 55. ”

triques avec 400 à 800 Wh, un million de VAE représente néanmoins des centaines de MWh. Cela illustre finalement parfaitement le fait que le stockage peut tout à la fois se substituer à des technologies lors qu'il présente un avantage environnemental et offrir de nouveaux services ou a minima élargir leur usage.

En ce qui concerne les usages stationnaires, la crise énergétique a dopé la demande de stockage domestique associé de plus en plus à la production photovoltaïque domestique, souvent bien au-delà de la rationalité technique ou économique. Même si ces systèmes couplés restent marginaux et ne rendent pas aujourd'hui tous les services de résilience imaginés par les propriétaires, ils ne peuvent pas être oubliés d'autant qu'ils se développent et devraient connaître des améliorations techniques les rendant économiquement plus intéressants qu'actuellement. C'est ce que présentent **Marion Perrin** et **Nicolas Martin** dans leur article.

Par ailleurs, poussés par une acceptation de plus en plus difficile des groupes à électrogène classiques très carbonés, les systèmes de production d'électricité mobile ou de secours à base d'hydrogène décarboné commencent à émerger comme alternative « propre ». Mais là aussi, ce développement suppose de trouver des solutions à des difficultés logistiques nouvelles, comme en témoigne l'article de **Jean-Gabriel Steinmetz**.

Quant aux grands systèmes de stockage raccordés en HTA ou HTB, ils ont égale-

ment vu un essor considérable ces deux dernières années : alors qu'en janvier 2020 moins de 100 MW étaient connectés en France, 700 MW sont envisagés d'ici fin 2023, bien que la valorisation principale actuelle qui repose sur le marché du réglage de fréquence soit en voie de saturation.

Cet essor a été permis grâce à des expérimentations qui ont permis une démonstration de leurs possibilités et un apprentissage de leurs caractéristiques nécessaire pour adapter les règles de raccordement et les marchés de service, comme décrit dans l'article de **Phuong Nguyen** et **Christian Poumarède** qui présente le Projet Ringo mené par RTE.

Des points d'attention pas toujours tous bien identifiés

La sécurité des batteries au lithium a été régulièrement pointée ces dernières années suite à des incendies toujours spectaculaires. De nombreux travaux de normalisation sont en cours, et tous les acteurs industriels et publics sont aujourd'hui bien conscients de l'importance de ces sujets qui sont et doivent rester une priorité. Il ne faut en aucun cas oublier que, par principe, toute libération mal contrôlée d'un grand stock d'énergie est dangereuse d'autant que les batteries de type Li à électrolyte organique et l'hydrogène sont particulièrement « sensibles ». Toute mise en œuvre doit donc faire l'objet de précautions à tous les niveaux et être manipulée par du personnel formé et conscient de ces particularités.



●●● L'empreinte environnementale est également bien prise en compte depuis des années dans la réglementation. C'est même un rare exemple d'une directive européenne qui impose des contraintes dès le déploiement des technologies, et ce avec la directive batterie. En revanche, cela reste souvent très partiel et théorique : la plupart des acteurs, à tous niveaux, ignore ou sous-estime l'empreinte environnementale des systèmes de stockage et même le simple fait que ces systèmes reposent sur des conversions chimiques et physiques qui génèrent des pertes pouvant être importantes. Il est pourtant primordial, pour ne pas faire de contre-sens et ralentir la nécessaire transition écologique, de bien savoir évaluer les impacts pour faire les meilleurs choix. Doivent notamment être intégrés les recours aux matières premières et matériaux rares, l'énergie nécessaire à l'extraction et la fabrication des systèmes, ainsi que les rendements finaux globaux. Vouloir éviter 5 % d'écèlement de surproduction solaire lorsqu'elle est surabondante en la stockant, en « oubliant » qu'environ 20 % de l'énergie stockée sera « perdue » dans les conversions liées au stockage est un non-sens pourtant courant. Quant aux systèmes électriques basés sur de l'hydrogène électrolytique, l'énergie perdue dans les conversions est de l'ordre de 70 %, et pourtant certains vantent les mérites des vélos à hydrogène !

Encore beaucoup de questions

La principale question est avant tout économique, et elle est loin d'être simple. Pour les systèmes électrochimiques à base de lithium, pourtant très matures, il reste une grande incertitude sur le coût des matériaux. Des études continuent de brandir des baisses significatives, jusqu'à 50 % par rapport à 2020 d'ici 2030/2040, en s'appuyant sur les vraisemblables courbes d'apprentissage et de rationalisation de production de masse

apportées par les « gigafactories ». Ces facteurs réels de compétitivité ne prennent cependant pas en compte ni la tension sur les matériaux, ni les autres facteurs de coûts, portant notamment sur les équipements à base d'électronique pour la conversion et le pilotage de ces systèmes, et encore moins la possible « compétition d'usage » entre la mobilité et les applications stationnaires, alors qu'il peut y avoir de réelles tensions dans l'équilibre offre/demande à toutes les étapes : matériaux, cellules, assemblages.

En ce qui concerne les prévisions économiques de systèmes moins matures (autres technologies électrochimiques, systèmes hydrogène, stockage thermique), les incertitudes sont encore plus complexes. Prévoir la place finale de ces systèmes dans un environnement de marché est donc assez acrobatique !

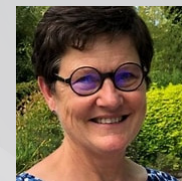
Un enjeu majeur : la formation

Cela converge vers ce qui est sans doute le plus gros enjeu pour le stockage d'énergie : la formation de tous les acteurs. Pour pouvoir bien comprendre les différentes facettes de ces technologies, faire les meilleurs choix, mais aussi pour permettre le développement et la fabrication de ces systèmes dont nous aurons tous besoin.

Une bonne nouvelle : le domaine de l'énergie attire de nouveau les jeunes !

L'auteur

Claire Lajoie-Mazenc est



conseillère scientifique, expert émérite Stockage d'énergie à RTE. Elle a exercé à

EDF et RTE différentes fonctions d'expertise technique et de management dans les domaines de la maintenance et de la recherche et innovation. Elle est présidente fondatrice du Club Stockage et nouveaux moyens de production de la SEE, présidente de la Section France de l'IEEE dont elle est membre senior, membre des conseils d'administration de la SEE, du Comité national français du CIGRE et membre de l'Executive Board de l'Association européenne de stockage d'énergie (EASE).

Reste à bien savoir sortir des silos traditionnels pour faire communiquer les différents domaines jadis distincts : chimie / électronique / électrotechnique / automatique / informatique. Des initiatives existent – tant dans les établissements traditionnels de formation (ENSTA, X, ECE, N7 et tant d'autres) que dans des initiatives ad'hoc (« l'école de la batterie », lancée en Isère par Verkor). ■

Les articles

Enedis travaille activement à l'intégration de la mobilité

électrique sur le réseaup.41

Stockage résidentiel et autoconsommation solairep.50

Approvisionnement en hydrogène des groupes

électrogènes H₂p.60

Le projet Ringop.65