Le fonctionnement et les services rendus par les batteries de stockage

Comment ça fonctionne ?

Plusieurs technologies de batteries existent (plomb, nickel-cadmium, lithium-ion…) mais elles partagent toutes un même principe : **elles transforment l'énergie électrique en énergie chimique pour la stocker.** Pour restituer l'énergie sous forme électrique, le principe inverse est appliqué.
Le lithium est un élément chimique métallique dont l'atome est composé de trois électrons (particules élémentaires d'un atome dont la charge électrique est négative), de trois protons (particules positives) et de trois neutrons (particules neutres). L'atome de lithium a la caractéristique de céder facilement un électron, devenant alors un ion, d'où le terme lithium-ion.
La batterie lithium-ion est ainsi basée sur l'échange réversible, de l'ion lithium entre une électrode positive (la cathode) et une électrode négative (l'anode) au sein d'une cellule. Dans de nombreux modèles, la cathode peut être NMC (Nickel + Manganèse et Cobalt) ou LFP (Lithium Fer Phosphate), tandis que l'anode est faite de graphite. Ces deux électrodes sont plongées dans un électrolyte (milieu conducteur qui contient des ions) constitué quant à lui par des ions lithium en grande quantité.
Quand la batterie se recharge, l'électrode positive émet des électrons grâce à un apport externe d'électricité, et ceux-ci sont absorbés par l'électrode négative, créant alors une différence de potentiel électrique entre les deux électrodes. Quand la batterie se décharge, les mouvements des électrons sont inversés du fait de la différence de potentiel, et ce déplacement d'ions est valorisé sous forme d'électricité pour être injecté sur le réseau ou pour mettre en fonctionnement un appareil.

Cette technologie largement éprouvée et **présente dans de très nombreux objets du quotidien** (téléphones portables, ordinateurs, etc.) est également utilisable à plus grande échelle, que ce soit pour des véhicules électriques ou des batteries associées à des moyens de production d'énergies renouvelables (parcs photovoltaïques par exemple).
Dans le cas de batteries amenées à fournir des services au réseau électrique, **le nombre de cellules est simplement multiplié** pour former des modules de batterie. Ces derniers sont raccordés dans des baies à l'intérieur d'un conteneur. Cette chaine est réalisée autant de fois que nécessaire afin d'atteindre la capacité désirée.

Qu'est-ce qu'une batterie de stockage ?

La batterie d'accumulateurs, généralement nommée batterie, est constituée d'une série d'accumulateurs électriques reliés entre eux dans le but de générer une tension et une capacité électrique souhaitées. Ces accumulateurs sont aussi appelés cellules. **La batterie d'accumulateurs permet de stocker l'énergie électrique sous forme chimique et de la restituer sous forme de courant continu, de manière contrôlée.**

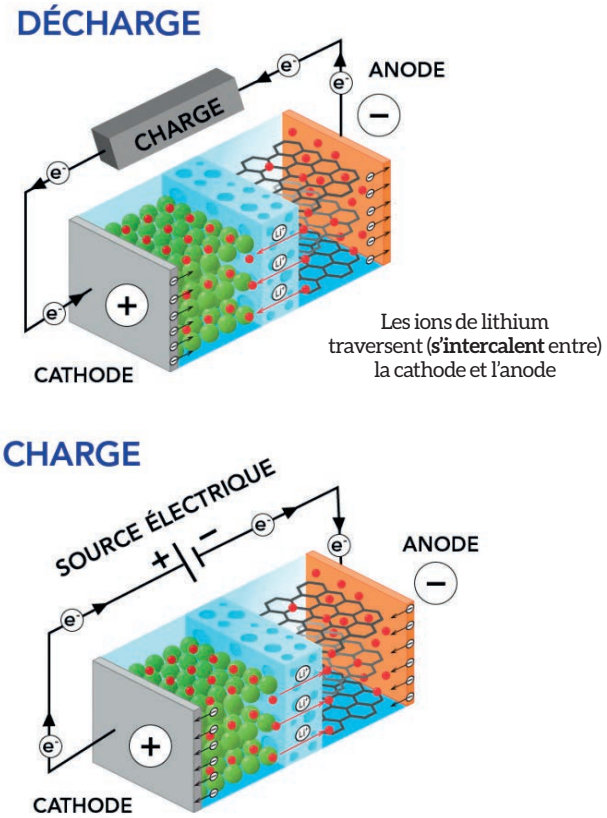


Schéma d'une batterie en cycle de charge, puis de décharge
Li+ : ions lithium / e- : électrons.
Source : Parlons sciences (2019)

La batterie de 150 MW de la Hornsdale Power Reserve (Australie, par Tesla et NEOEN)

La simple multiplication des cellules assure à la batterie une grande capacité d'adaptation aux différents besoins, une maintenance aisée, ainsi qu'une durée de vie accrue. Lorsqu'un élément est défaillant, son remplacement est facilité.
Généralement installées dans des conteneurs, ces batteries de plus grande ampleur sont raccordées à des **convertisseurs**, pour modifier les caractéristiques du courant électrique, et des **systèmes électriques** nécessaires à leur bon fonctionnement. On compte ainsi parmi eux **des onduleurs,** pour transformer le courant continu de la batterie en courant alternatif lors de la décharge de cette dernière, et **des redresseurs,** pour transformer le courant alternatif en courant continu lors de son cycle de charge. **Un transformateur** adossé à la batterie permet également de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant, afin de les rendre compatibles avec les caractéristiques du réseau électrique auquel celle-ci est connectée. La jonction avec le réseau s'effectue quant à elle par l'intermédiaire d'un **poste de livraison.**

Enfin, des **systèmes de détection et extinction des incendies** assurent également la sécurité du dispositif, ainsi que des **circuits de climatisation** visant à contrôler l'environnement thermique des cellules.

Quels sont les services rendus au réseau par les batteries de stockage ?

Les batteries de stockage rendent **deux grands types de services au réseau électrique** : le lissage de la production électrique visant à compenser l'intermittence des moyens de productions renouvelables d'une part, et le maintien de la fréquence du réseau d'autre part.

Les batteries permettent en effet de **stocker l'excédent d'électricité lorsque la production dépasse la consommation pour la restituer ensuite**, lorsque la consommation sur le réseau est supérieure à la production.

En Europe, le réseau est alimenté par un courant alternatif dont la fréquence est de 50 hertz (Hz), ce qui signifie qu'il y a 50 ondes de tension par seconde. Cette fréquence d'équilibre permet d'assurer la bonne exploitation du réseau, et varie lorsque la production n'est plus égale à la consommation. Pour maintenir cette fréquence stable, les batteries représentent un véritable atout, puisqu'elles peuvent intervenir avec une très grande réactivité. Dès que la fréquence dévie de plus de 10 mHz (0,01 Hz) autour de 50 Hz, la batterie injecte du courant (lorsqu'il s'agit d'une diminution de la fréquence), ou se recharge (lorsqu'il s'agit d'une surfréquence), et ceci proportionnellement à l'écart de fréquence.

Le gestionnaire du réseau de transport électrique (RTE en France) a pour mission d'assurer la sûreté du système électrique français et de veiller à l'équilibre global entre la production et la consommation en temps réel. Pour mener à bien cette mission, RTE fait appel aux flexibilités offertes par les sites de production et de consommation (c'est-à-dire la capacité des acteurs à adapter leur consommation ou production électrique), de manière indifférenciée, sur les mécanismes de marché.

Participant à cette flexibilité, les batteries mettent ainsi à disposition leur puissance et leur énergie sur des plages horaires données. Elle sont activables automatiquement ou sur demande de RTE.

Parmi les batteries, celles de technologie Lithium-ion (Li-ion) possèdent des caractéristiques techniques particulières, tel qu'un temps de réponse inférieur à 100 millisecondes, qui en font des atouts mobilisables beaucoup plus rapidement que d'autres actifs de flexibilité du réseau (comme les centrales thermiques par exemple).

La réserve primaire

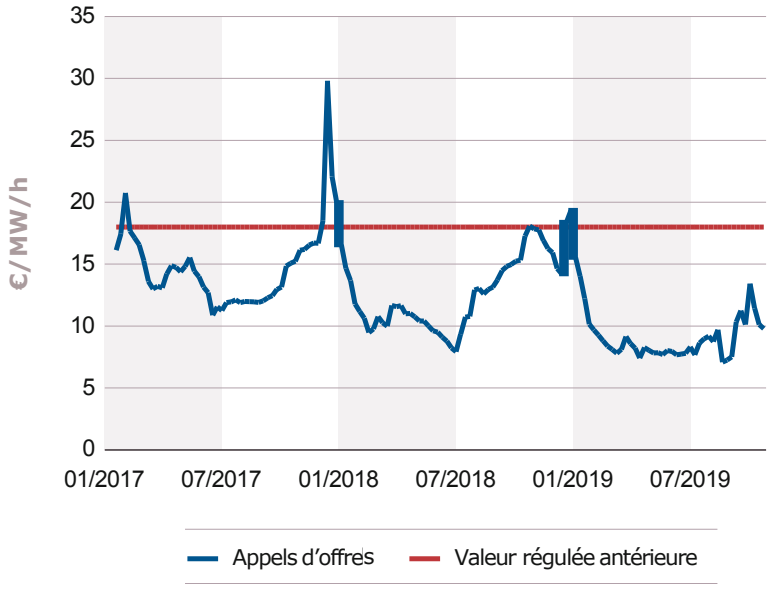
Cette réserve est la première à être appelée afin de **contenir la déviation de la fréquence**, c'est-à-dire lorsqu'il y a une variation de ±200 mHz autour de 50 Hz, en agissant à la hausse ou à la baisse sur la puissance injectée ou consommée sur le réseau.

La réserve primaire existe depuis longtemps mais elle n'a été ouverte au stockage par batterie que depuis juin 2017. Ainsi, la contribution à la réserve primaire est **le service de base qu'une batterie peut rendre au réseau électrique.** Ce mécanisme de réserve primaire est organisé au travers d'appels d'offres journaliers européens (Autriche, Belgique, Suisse, Allemagne, Danemark de l'Ouest, France et Pays-Bas) en J-1 et s'élève à 3 000 MW dont 600 MW en France.

Afin de pouvoir contribuer à cette réserve, il faut que la batterie puisse injecter ou soutirer du réseau sa puissance maximale en moins de 30 secondes et maintenir cette action pendant 15 minutes. RTE assure en temps réel l'équilibre du réseau. L'unité de régulation peut donc être activée plusieurs fois par jour, à une puissance inférieure à sa puissance maximale et pour une durée inférieure à 15 minutes.

Aussi, afin qu'une batterie puisse participer à la réserve primaire, elle doit répondre à une contrainte de dimensionnement de 1,1 MW installé pour une puissance de 1 MW certifiée. Ainsi, pour un exemple de 40 MW de batterie, 36 MW seront rémunérés sur le marché de la réserve primaire.

Cette flexibilité est rémunérée en €/MWh sur la puissance mise à disposition de RTE sur une plage horaire de 4h, et ceci six fois par jour. La rémunération est donc variable. Par ailleurs, l'arrivée des batteries sur ce marché européen permet de réduire le prix moyen de la réserve primaire, comme le montre le schéma ci-dessous.



Evolution du prix des appels d'offres de la réserve primaire (Source : Rapport RTE, janvier 2020)

Les mécanismes de capacité

Comme le mentionne le site internet de RTE : **"Le mécanisme de capacité vise à assurer la sécurité d'approvisionnement électrique en France lors des périodes de pointe hivernale".** Il s'appuie sur l'obligation de couverture de la consommation en heure de pointe par les acteurs obligés et sur la certification et la valorisation des capacités de production et d'effacement.

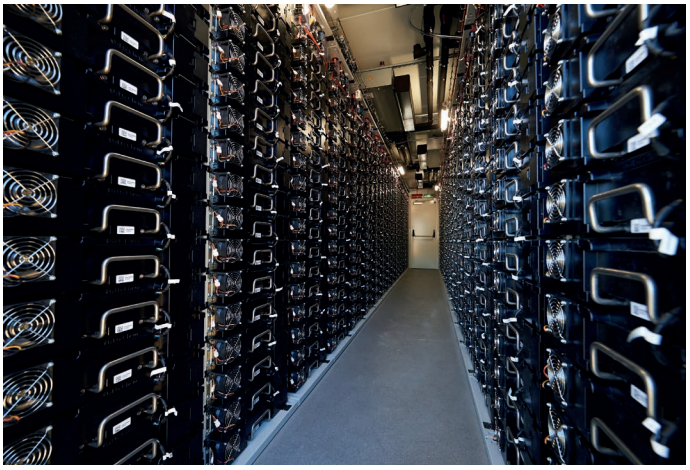
- **Les exploitants** s'engagent à rendre leurs capacités (MW) disponibles pendant les périodes de pointe hivernale. En échange, RTE leur remet des garanties (certification) qu'ils peuvent vendre aux acteurs obligés.
- **Les acteurs obligés** démontrent chaque année qu'ils sont en mesure de couvrir la consommation de leur périmètre pendant les périodes de pointe hivernale. Pour cela, ils acquièrent un montant équivalent de garanties. Les acteurs obligés sont les fournisseurs, ainsi que les gestionnaires de réseau pour leurs pertes et les consommateurs finaux, qui, pour tout ou partie de leur consommation, ne s'approvisionnent pas auprès d'un fournisseur.

Le mécanisme de capacité débute quatre ans en amont. Durant l'année de livraison, RTE signale, la veille pour le lendemain, les jours de pointe PP1 (pour les acteurs obligés) et PP2 (pour les exploitants), durant lesquels les acteurs obligés et les exploitants de capacité devront remplir leurs engagements respectifs. Entre 10 à 15 jours PP1 et 10 à 25 jours PP2 peuvent être signalés chaque année, du 1er janvier au 31 mars et du 1er novembre au 31 décembre (hors week-end et hors vacances de Noël), sur les plages horaires 7h - 15h et 18h - 20h[64].

Aujourd'hui, afin de pouvoir certifier des capacités en tant que batterie, il faut avant tout que la batterie soit valorisée au sein de la réserve primaire. Ce marché de capacité est donc supplémentaire à celui de la réserve primaire.

L'appel d'offres long terme, dit "AOLT" est un nouveau volet du marché de capacité organisé par RTE. Il a pour but d'encourager des investissements dans des capacités électriques additionnelles sur le réseau français en offrant aux acteurs une visibilité et des revenus stables dans le temps. En cohérence avec la programmation pluriannuelle de l'énergie, la participation à cet appel d'offres était restreinte aux énergies bas carbone, à l'effacement de consommation et au stockage d'électricité (plafond d'émission CO_2 fixé à 200 g CO_2/kWh). Le volume total de nouvelles capacités retenues en 2020 est de 253 MW de stockage. Ces volumes ont été retenus pour les appels d'offres portant sur les périodes 2021-2027 et 2022-2028. RTE a édicté une règle appliquant un coefficient de 0,85 par rapport à la puissance disponible. Ainsi, la batterie d'HORIZEO de 40 MW mettra en vente 40 MW x 0,85 = 34 MW de puissance sur le marché de capacité, rémunéré en €/MW/an.

En complément des unités de production d'énergie, l'unité de stockage par batterie permet donc de soutenir la stabilité du réseau en régulant la fréquence tout en lissant l'injection électrique de celui-ci. La batterie de stockage s'avère donc un allié pertinent pour la transition énergétique.



Azur Stockage en Nouvelle-Aquitaine, inaugurée en février 2019, est la première batterie de France métropolitaine (source : Neoen).

[64] *https://www.services-rte.com/fr/decouvrez-nos-offres-de-services/participez-au-mecanisme-de-capacite.html*

Le saviez-vous ?

Ne pas confondre piles, accumulateurs et batteries ! La pile fut inventée en 1800 par le comte Alessandro Volta, qui empila des disques de cuivre, de zinc et de feutre et constata qu'il venait de générer une réaction créant un courant électrique. C'est d'ailleurs de cet empilement que la pile tire son nom. Une fois la réaction achevée, la pile ne délivrait plus de courant et ne pouvait servir à nouveau. La pile n'est donc pas réversible, à l'inverse des accumulateurs capables de délivrer un courant en cycle de décharge, et d'inverser le cycle lors d'une recharge. **La batterie, quant à elle, est l'association de plusieurs accumulateurs reliés entre eux.**