

# LES ACCUMULATEURS : UTILES À DEUX REPRISES

Le fort développement de la mobilité électrique entraîne à moyen terme un important retour des batteries usagées des voitures électriques. Ces accumulateurs ont perdu leurs performances initiales, mais la majorité des cellules de batterie qu'ils contiennent sont toujours utiles. Ces dernières peuvent être utilisées pour la construction des dites batteries de seconde vie. Avant que les cellules de batterie puissent être utilisées dans un second cycle de vie, leur état doit être déterminé (« State of Health »/ SoH). Une équipe de recherche de Neuchâtel, en collaboration avec un partenaire industriel zurichois, a cherché des méthodes de mesure efficaces.



L'intérieur d'une batterie de seconde vie vendue par l'entreprise zurichoise Libattion sous le nom de «e-Brick»: les 196 cellules de la batterie proviennent de vélos électriques et permettent une capacité de stockage d'environ 2,5 kWh. Pour la comparaison: La batterie d'un vélo électrique se compose typiquement de 50 cellules avec une capacité de stockage d'environ 0,5 kWh. Photo: Libattion

Le nombre de voitures électriques sur les routes suisses ne cesse d'augmenter. En règle générale, les véhicules obtiennent leur énergie motrice à partir d'une batterie lithium-ion. Leur durée de vie est limitée à 10 ou 15 ans car la capacité de charge diminue au fil du temps. Si une batterie ne peut plus stocker que 80% de la quantité d'électricité initiale, elle est considérée comme trop usagée pour que son utilisation dans le trafic routier soit judicieuse. En effet, dans ce cas, la voiture électrique perd beaucoup d'autonomie, laquelle passe, par exemple, de 500 à 400 kilomètres.

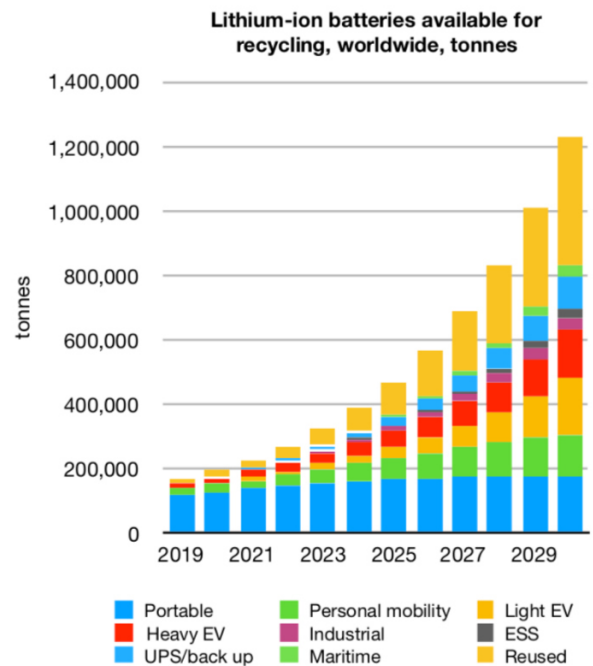
### Deux tiers des cellules sont intactes

La batterie d'une voiture électrique se compose généralement de plusieurs milliers de cellules de stockage électrochimiques. Si les batteries disposent d'un système de gestion de la température, cela signifie que les cellules vieillissent à une vitesse similaire. La situation est différente pour les batteries des vélos électriques: les 50 cellules qui y sont typiquement intégrées ne sont ni chauffées ni refroidies et vieillissent donc très différemment. Les cellules de batterie, par exemple, qui sont exposées à une accumulation de chaleur, vieillissent très vite. L'expérience montre que sur les batteries de vélos électriques mises au rebut, deux tiers des cellules possèdent encore plus de 80% de leur capacité de stockage. Celles-ci peuvent être assemblées pour former de nouvelles batteries. C'est ainsi que naissent les batteries de seconde vie utilisées pour des applications stationnaires (par exemple le stockage de l'électricité solaire) ou pour une utilisation récente dans le domaine de la mobilité.

Les applications de seconde vie des batteries sont testées et pratiquées depuis des années. Dans le cadre d'un projet pilote de l'OFEN, la Poste suisse a utilisé temporairement les batteries de scooters électriques mis au rebut pour construire des accumulateurs stationnaires d'électricité solaire. Dreifels AG à Gelterkinden (BL) est un fabricant suisse de piles de seconde vie. Ces dernières années, elle a produit une bonne



Un accumulateur de seconde vie de Libattion, fabriqué à partir de cellules de batterie de vélo électrique, pèse 12 kg. Libattion fabrique également des accumulateurs de batterie de seconde vie à partir de batteries de voiture recyclées. Cinq batteries de voiture d'une capacité de charge de 20 kWh chacune donnent un stockage de 100 kWh. Photo: Libattion



La quantité de batteries susceptibles d'être recyclées dans des systèmes de stockage de seconde vie va fortement augmenter au cours des prochaines années. Graphique: Circular Energy Storage

douzaine d'accumulateurs à partir de batteries de seconde vie, en utilisant les batteries de vélos Twike à moteur électrique. « Nous avons développé une solution standardisée pour des capacités de 6 à 30 kWh, qui injecte l'électricité solaire stockée dans le réseau domestique sous forme de courant alternatif », explique Ralph Schnyder, directeur de Dreifels. « Comme les cellules de seconde vie fonctionnent à une tension élevée de 385 volts, les batteries n'ont pratiquement pas de pertes de conversion ».

### Des interfaces appropriées

La société Libattion AG, à Glattbrugg (ZH), s'est également lancée dans la construction de batteries de seconde vie. Les frères Stefan et Nicolas Bahamonde ont fondé l'entreprise en 2018. Elle fabrique des accumulateurs d'électricité principalement à partir de cellules intactes de batteries de vélos électriques en fin de vie. Ces dernières sont démontées par la société de valorisation BATREC à Wimmis (BE), les différentes cellules sont ensuite testées et finalement assemblées à Glattbrugg pour former des batteries de seconde vie. « Nous utilisons des cellules de batterie avec une capacité de charge de 90 pour cent et plus pour les chariots élévateurs, les cargobikes et autres véhicules électriques légers; à partir de cellules avec une capacité de charge de 75 à 90 pour cent, nous construisons des accumulateurs stationnaires pour l'électricité





Les fondateurs de Libattion Bertrand Schutz (CFO), Nicolas Bahamonde (CTO) et Stefan Bahamonde (CEO) (de gauche à droite). L'entreprise emploie 15 personnes et réalisera un chiffre d'affaires d'environ 2 millions de francs en 2022. Le fournisseur d'électricité de Bâle-Campagne EBL est aux côtés de la jeune entreprise en tant qu'investisseur. Photo: Libattion

photovoltaïque », explique le directeur général de Libattion, Stefan Bahamonde. Les acheteurs des batteries de seconde vie sont une trentaine de clients professionnels.

L'application d'une batterie de seconde vie dans un véhicule électrique n'est pas aussi simple que de remplacer une pile de lampe de poche. La batterie doit être exactement adaptée aux exigences techniques du moteur électrique. De plus, l'échange d'informations doit être assuré par des interfaces et des protocoles de communication appropriés. Grâce à une conception appropriée du système de gestion des batteries, Libattion peut collecter les données pertinentes des batteries de seconde vie pendant leur fonctionnement et les mettre à la disposition des utilisateurs des batteries. Libattion sait ainsi quand une batterie est en panne ou doit être remplacée.



Un banc d'essai qui permet de tester les performances des batteries de vélos électriques d'occasion. Photo: CSEM

Pour réussir l'intégration des batteries de seconde vie, Libattion AG développe ses batteries en collaboration avec les constructeurs des véhicules dans lesquels elles sont utilisées.

### Réduction de la période d'essai

La base de toute batterie de seconde vie est constituée de cellules usagées intactes avec une capacité de stockage suffisante. Pour cela, chaque cellule de batterie doit être testée avant d'être utilisée en seconde vie et la capacité de charge restante doit être déterminée. Pour déterminer la capacité, il est possible de décharger complètement un élément de batterie et mesurer ensuite le courant et le temps de charge pendant le processus de charge, ce qui permet d'obtenir la capacité de charge. Toutefois, ce processus prend de quatre à huit heures par cellule de batterie. « Étant donné le nombre de cellules à mesurer, le processus est relativement long. C'est pourquoi nous avons étudié, dans le cadre d'un projet de recherche, comment réduire ce temps de plusieurs heures à quelques minutes », explique le Dr Andreas Hutter, chef de groupe au centre de recherche et de développement CSEM à Neuchâtel.

Le projet soutenu par l'OFEN a cherché des moyens de déterminer indirectement la capacité de charge d'une cellule d'occasion ; c'est-à-dire sans mesurer le courant de charge pendant toute la durée de la charge. Le projet s'est basé sur 500 cellules de batteries lithium-ion usagées provenant de vélos électriques. Les chercheurs impliqués ont pu montrer que trois méthodes permettent de déterminer la capacité de charge en peu de temps, non pas avec exactitude, mais malgré tout avec une certaine précision. La première méthode consiste à déterminer la résistance interne de l'élément de batterie, la seconde à déterminer l'efficacité de la charge pendant un court laps de temps. La troisième méthode mesure également la résistance de la batterie, non pas avec un courant continu, mais en appliquant une tension alternative (méthode de spectroscopie d'impédance électrochimique/EIS).

### Trois procédures et leurs avantages

Les chercheurs du CSEM ont pu montrer que les trois méthodes sont capables de déterminer la capacité des cellules de batterie usagées en moins d'une heure avec une bonne précision (erreur d'estimation inférieure à 2,5%). Chaque processus a ses avantages: la mesure de la résistance interne a été la plus rapide, avec une durée de seulement huit minutes par cellule de batterie. La méthode basée sur l'efficacité était



Chambre climatique pour l'étude des cellules de batteries au CSEM à Neuchâtel. La température peut être réglée entre  $-45^{\circ}\text{C}$  et  $+180^{\circ}\text{C}$ . La chambre climatique aide à tester les cellules de la batterie dans des conditions environnementales contrôlées. Tous les tests réalisés dans le cadre du projet BAT4SEL ont été effectués à  $20^{\circ}\text{C}$ . Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous. Photo: CSEM

particulièrement robuste, c'est-à-dire qu'elle était aussi fiable pour tous les types de cellules lithium-ion étudiés. En ce qui concerne la précision, la méthode EIS est arrivée en tête, tandis que la mesure de la résistance interne a obtenu des résultats équivalents. L'inconvénient de la méthode EIS est le coût relativement élevé de l'équipement de mesure et le temps de mesure comparativement long.

« En résumé, les indicateurs basés sur le rendement représentent le meilleur compromis pour une estimation précise et rapide du SoH des cellules Li-ion usagées étudiées dans le projet », constatent les auteurs dans le rapport final de l'OFEN. Avant de compléter: « Le choix de l'indicateur le plus approprié dépend toutefois de l'aspect le plus important pour l'utilisateur final: la précision de l'estimation, la robustesse (corrélations cohérentes entre les technologies cellulaires), le temps de test ainsi que l'applicabilité au parc de machines existant ».

### Alternatives à la procédure de test

La procédure de test raccourcie pourrait être utilisée à l'avenir par Libattion si le nombre de cellules de batteries recyclées augmente fortement. « Nous souhaitons développer et industrialiser ce procédé innovant à partir des résultats validés, dès que nous disposerons des moyens nécessaires », explique Nicolas Bahamonde, cofondateur de Libattion. Il est également prévisible qu'à l'avenir, il ne sera peut-être plus nécessaire de déterminer l'état de santé des batteries usagées de

## DES NOMBREUSES CELLULES

La batterie d'un vélo électrique se compose généralement de 50 cellules de batterie. Ils ont une forme cylindrique, pour un diamètre de 18 mm et une longueur de 65 mm. 50 cellules d'une capacité de stockage d'environ 13 Wh confèrent à la batterie une capacité d'environ 500 Wh (ou 0,5 kWh). Les batteries des voitures électriques doivent pouvoir contenir beaucoup plus d'énergie. Ici, 2000 à 5000 cellules cylindriques permettent traditionnellement des capacités de 20 à 50 kWh.

Les voitures électriques actuelles ont des capacités de 100 kWh et plus. Cela est notamment possible grâce à l'utilisation de cellules de batterie particulièrement performantes. De plus en plus, les voitures électriques utilisent des batteries qui ne sont pas composées de cellules cylindriques, mais de cellules prismatiques. De plus en plus, les voitures électriques utilisent des batteries qui ne sont pas composées de cellules cylindriques, mais de cellules prismatiques. Les cellules de poche sont une forme particulière de cellules prismatiques. Elles n'ont pas de boîtier extérieur rigide et sont ainsi plus légères, mais également moins résistantes. Tandis que le constructeur automobile Tesla continue d'utiliser des cellules cylindriques, les constructeurs automobiles européens utilisent de plus en plus des cellules prismatiques ou de poche. BV

grande taille. Les batteries des voitures électriques sont en effet en train d'être équipées électroniquement de manière à ce que la capacité de charge et d'autres paramètres soient déterminés et enregistrés en permanence pendant le fonctionnement. Atteindre ce but est un objectif partiel du projet phare d'Innosuisse CircuBAT, qui a démarré au printemps 2022 et auquel participent, outre le CSEM, six autres instituts de recherche et 24 entreprises.

- Dr Stefan Oberholzer, directeur du programme de recherche de l'OFEN Batteries, communique des **informations** sur le projet de recherche BAT4SEL : [stefan.oberholzer@tbf.admin.ch](mailto:stefan.oberholzer@tbf.admin.ch)
- Vous trouverez plus d'**articles spécialisés** concernant les projets pilotes, de démonstration et les projets phares dans le domaine des batteries sur [www.bfe.admin.ch/ec-publikationen](http://www.bfe.admin.ch/ec-publikationen).