

RÉINVENTER LA BATTERIE

Les batteries et autres accumulateurs électrochimiques jouent un rôle essentiel pour une alimentation énergétique durable. Le triomphe de la batterie lithium-ion depuis le début du millénaire crée une bonne base pour cela. La recherche sur les batteries continue de manière très dynamique, non seulement au niveau international, mais également dans les hautes écoles spécialisées, les hautes écoles et les universités suisses. Un objectif centrale de la recherche et du développement est de poursuivre l'augmentation de la capacité et de la vitesse de charge des accumulateurs électrochimiques.



Des accumulateurs au chlorure de sodium et de nickel à géométrie plate sont développés dans le laboratoire de l'Empa à Dübendorf. Photo: Empa

Article spécialisé concernant les connaissances acquises lors de plusieurs projets de recherche, des projets pilotes et de démonstration dans le domaine des batteries soutenu financièrement par l'OFEN. L'article a été publié, entre autres, dans le magazine Swiss Engineering (édition août 2022).



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

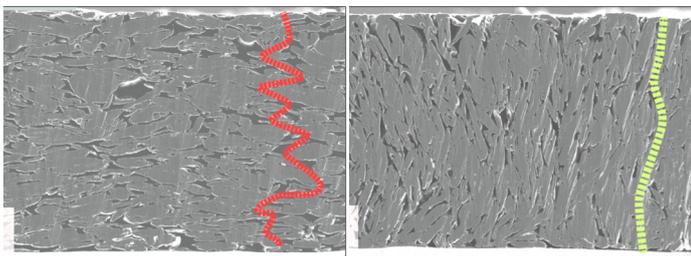
Office fédéral de l'énergie OFEN

La décarbonisation du système énergétique suisse se jouera essentiellement sur la route dans les années et décennies à venir. Un peu plus de 70 000 voitures de tourisme électriques à batterie circulent actuellement en Suisse, soit environ 1,5% du parc automobile. D'ici 2050, ce chiffre passera à 3,6 millions si les attentes des « Perspectives énergétiques 2050+ » de l'Office fédéral de l'énergie deviennent réalité. Pour réussir la transition des moteurs fossiles vers les moteurs électriques, des batteries performantes doivent être disponibles.

Les batteries sont également essentielles dans le domaine de l'alimentation électrique. L'électricité solaire et éolienne peut être produite uniquement lorsque les conditions météorologiques le permettent. Mais comme les pics de demande ne se produisent pas au même moment, des accumulateurs absorbant l'électricité en attendant son utilisation sont nécessaires. Les batteries représentent un instrument important à cette fin. En Suisse, la production d'électricité solaire doit être au moins multipliée par dix d'ici 2050. Aujourd'hui déjà, de nombreux exploitants d'installations photovoltaïques (PV) utilisent un accumulateur à batterie afin de pouvoir consommer eux-mêmes la plus grande quantité possible d'électricité solaire. A long terme, les experts estiment qu'environ 70% des installations photovoltaïques devraient être combinées à des batteries de stockage.

La Suisse à l'avant-garde de la recherche sur les batteries

Les batteries et autres accumulateurs électrochimiques sont une technologie clé pour la transformation du système énergétique vers la durabilité. L'Union européenne (UE) a lancé en 2017 « l'Alliance européenne des batteries ». Fin 2019 et dé-



Représentation schématique de la technologie Batttrion: si les particules individuelles sont alignées dans une électrode en graphite (représentation à droite), les ions lithium peuvent pénétrer plus rapidement dans le matériau, contrairement aux particules de graphite non alignées (représentation à gauche). Cela accélère le processus de chargement et évite tout dégagement de chaleur indésirable. Le processus peut également utiliser du graphite qui a été moins traité lors de sa fabrication. Il est moins cher et plus respectueux des ressources. Illustration: Batttrion



La Haute école spécialisée bernoise Technique et informatique de Bienne apporte une contribution importante à la recherche sur les batteries en Suisse. Sur l'image: le professeur Andrea Vezzini en compagnie d'une chercheuse dans le laboratoire du centre de stockage d'énergie de la HESB à Bienne. Photo: Haute Ecole spécialisée bernoise

but 2021, la Commission européenne a approuvé un total d'environ 6 milliards d'euros d'aides publiques de la part des Etats membres. Les aides doivent déclencher des investissements privés à hauteur de 14 milliards d'euros afin de développer ensemble une production autonome de batteries en Europe. « D'ici 2025, nos actions dans le cadre de l'Alliance européenne des batteries conduiront à une industrie suffisamment forte pour équiper au moins six millions de voitures électriques par an », a déclaré Maroš Šefčovič, vice-président de la Commission européenne, lors du lancement du programme.

En Suisse, des instituts de recherche et des entreprises industrielles se sont réunis en février 2020 pour former la plateforme d'innovation iBAT. « Grâce à une collaboration interdisciplinaire entre la science et l'industrie, la compétitivité de la Suisse dans cette technologie clé doit être encore renforcée », explique le professeur Andrea Vezzini, directeur du centre de stockage de l'énergie à la Haute école spécialisée bernoise et président de l'iBAT. La Suisse n'est certes pas un grand producteur de batteries, mais elle occupe une position de pointe dans la recherche et en tant que fournisseur de produits semi-finis et de machines, souligne Vezzini.

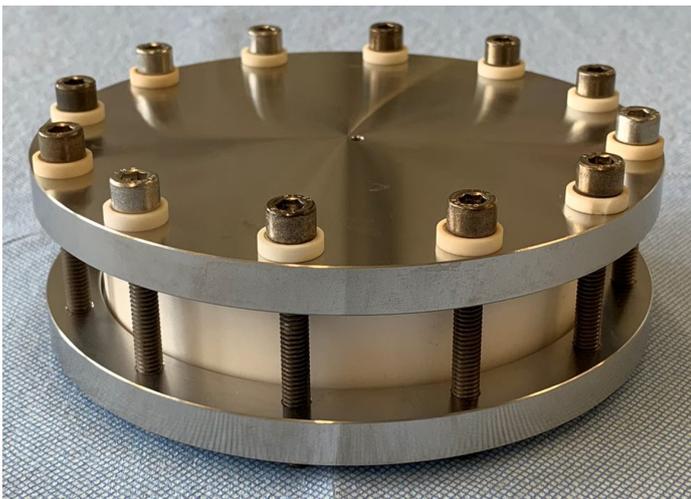
Charger les batteries lithium-ion plus rapidement

Une partie des activités de recherche suisses vise à améliorer l'accumulateur lithium-ion. Cette pile rechargeable a été inventée à la fin des années 1970 et commercialisée dans les



Battrion a mis au point un procédé permettant d'augmenter la vitesse de chargement des batteries lithium-ion. Le nouveau procédé sera adapté de manière à pouvoir être intégré dans les processus de fabrication existants de batteries lithium-ion. Sur l'image: installation pilote à Dübendorf. Photo: Battrion

années 1990. Aujourd'hui, la batterie lithium-ion est, avec la batterie au plomb, le principal accumulateur. Elle est utilisée dans les voitures électriques, les téléphones portables et de nombreux autres appareils électriques. Les ions lithium, qui ont donné leur nom à la batterie, jouent un rôle central dans son fonctionnement: les porteurs de charge positive se déplacent de l'électrode positive vers l'électrode négative lors de la



Cellule pilote d'un accumulateur sodium-chlorure de nickel à géométrie plate. Les composants passifs de la cellule, l'électrolyte solide ainsi que l'électrode négative en sodium métal fondu tolèrent des taux de charge et de charge finale extrêmement élevés ($> 1 \text{ A/cm}^2$). Selon Meike Heinz, chercheuse à l'Empa, cela permet de construire des cellules de batterie avec des densités de puissance et d'énergie élevées ($>1000 \text{ W/kg}$, $>250 \text{ Wh/kg}$). Photo: Empa

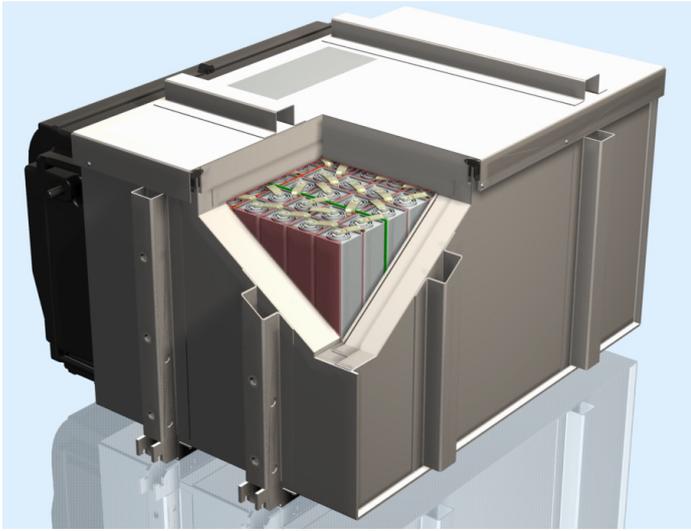
charge de la batterie (et dans le sens inverse lors de la décharge).

« Nous avons amélioré l'électrode négative afin d'accélérer le processus de charge de ces batteries », explique le Dr Max Kory, cofondateur de la spin-off Battrion (Dübendorf), issue de l'École polytechnique fédérale de Zurich en 2015. L'électrode négative des batteries lithium-ion actuelles se compose de graphite (carbone), dans lequel les ions de lithium sont stockés lors de la charge de la batterie. Après des années de recherche, Battrion a mis au point un procédé permettant d'orienter les différentes particules de carbone du graphite lors du processus de fabrication de l'électrode négative de manière à simplifier les voies de transport des ions de lithium à travers l'électrode négative. Ainsi, le temps de charge, d'une voiture électrique pour une autonomie de 400 km par exemple, pourrait être réduit de 25 minutes aujourd'hui à 15 minutes, explique Kory. Dans l'optique d'une industrialisation ultérieure, la prochaine étape consistera à démontrer les avantages de cette technologie dans les cellules et les modules de batteries pour voitures électriques.

Pile réseau stationnaire à base de sel alimentaire

Un type d'accumulateur encore peu répandu est la cellule au chlorure de sodium-nickel (également appelée « batterie ZEBRA » en référence à un développement antérieur). La fascination pour cet accumulateur électrochimique vient notamment du fait qu'il fonctionne à base de sel alimentaire (chlorure de sodium). Toutes les matières premières nécessaires sont disponibles en quantité suffisante et à bas prix. Toutefois, la batterie fonctionne à des températures d'environ $300 \text{ }^\circ\text{C}$ et doit donc être isolée thermiquement. Jusqu'à présent, cette technologie nécessitant peu d'entretien et au fonctionnement fiable, même à des températures extérieures très élevées ou très basses, est utilisée dans des applications de niche telles que l'alimentation électrique d'antennes de télécommunication et d'installations de secours. A l'avenir, elle pourrait par exemple servir également à équilibrer la production et la demande d'électricité dans des batteries de réseau stationnaires. L'entreprise tessinoise FZSoNick SA à Stabio s'est fait un nom en tant que fabricant.

Avec le soutien de l'OFEN, le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa) de Dübendorf a entrepris d'optimiser les différents composants de l'accumulateur sodium-chlorure de nickel. « D'une part, nous avons développé des cellules de batterie avec une géométrie plate », explique



Un accumulateur sodium-chlorure de nickel de dernière génération, mais toujours avec des cellules de batterie tubulaires. Un coup d'œil à l'intérieur montre les différentes cellules de la batterie, dans lesquelles les nouvelles formules d'électrodes développées devraient bientôt être utilisées. Illustration: FZSoNick

le Dr Meike Heinz, chercheuse à l'Empa. « Nous avons ainsi pu montrer que l'électrode négative en sodium métal fondu peut être chargée et déchargée extrêmement rapidement. Même si l'électrode positive fonctionne un peu plus lentement, les cellules plates atteignent des densités de puissance et d'énergie élevées. D'autre part, nous avons par exemple perfectionné l'électrode positive de manière à utiliser moins de nickel, ce qui réduit les coûts de fabrication tout en prolongeant la durée de vie des accumulateurs ». Les batteries sodium-chlorure de nickel actuelles ont une géométrie tubulaire, ce qui nécessite des procédures complexes lors de la fabrication, de l'assemblage et du contrôle qualité des grandes batteries. « Les résultats de la recherche fournissent des informations importantes pour le développement de notre technologie de batterie », explique Andrea Pozzi, responsable de l'innovation et du développement au FZSoNick. « Même si la production de cellules plates n'est pas encore au point à l'heure actuelle, nous profitons par exemple des nouvelles électrodes à teneur réduite en nickel, que nous souhaitons utiliser dès l'année prochaine dans nos cellules tubulaires ».

Alimentation électrique de «l'Internet de Objets»

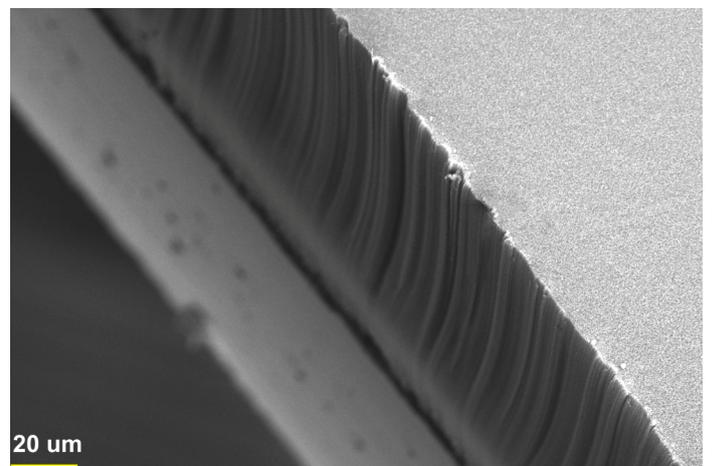
Il s'agit également d'améliorer une technologie de stockage existante dans le cadre de Swistor, un projet pilote et de démonstration de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) soutenu par l'OFEN. Lesdits supercondensateurs sont

au cœur de ce processus. Ils stockent l'énergie électrique à la fois de manière physique et électrochimique. Les supercondensateurs peuvent absorber et restituer du courant comme les accumulateurs, et même à une vitesse particulièrement élevée, mais ils peuvent jusqu'à présent absorber relativement peu d'énergie. « Nous voulons augmenter la densité énergétique des supercondensateurs et les utiliser dans de nouveaux domaines d'application, par exemple pour alimenter des capteurs, comme ceux qui sont de plus en plus utilisés dans les applications « intelligentes » ou dans « l'Internet des Objets » », explique le Dr Clara Moldovan, directrice du projet Swistor du « Laboratoire de dispositifs nanoélectriques » de l'EPFL.

Les supercondensateurs du laboratoire de l'EPFL utilisent des électrodes constituées de structures tubulaires d'atomes de carbone. On parle ici de nanotubes de carbone (en anglais Carbon nanotubes, CNT), car leur diamètre représente seulement quelques nanomètres (milliardièmes de mètre). Les électrodes sont recouvertes de matériaux électrochimiquement actifs, lesquels permettent d'augmenter considérablement la densité énergétique. Le projet de trois ans de l'OFEN a donné naissance à un prototype qui constitue la base permettant d'industrialiser la technologie. Dans ce but, la scientifique de l'EPFL Moldovan a l'intention de créer une spin-off cette année.

Utilisation correcte des batteries

Le développement de systèmes de stockage d'énergie électrochimique performants est le fruit d'un travail de pionnier.



Détail d'une électrode composée de nanotubes de carbone alignés verticalement (agrandi 300 fois). Les chercheurs de l'EPFL utilisent de telles électrodes pour le nouveau supercondensateur. Photo: EPFL

Mais la transition vers un approvisionnement énergétique durable dépend aussi de la manière dont les nouveaux dispositifs de stockage sont intégrés dans l'approvisionnement en électricité. Un projet de recherche de la Haute école spécialisée bernoise (HESB), dirigé par le professeur Michael Höckel, a examiné la situation. Le Centre Stockage d'énergie de la HESB s'est penché sur la question de savoir comment les exploitants d'installations solaires peuvent utiliser leurs accumulateurs à batterie correspondants en vue de « servir le réseau », c'est-à-dire de manière à décharger le plus possible les réseaux de distribution d'électricité.

En étudiant un réseau de distribution urbain, suburbain et rural, les scientifiques sont parvenus à la conclusion que le stockage par batterie pourrait apporter une contribution déterminante à la stabilité du réseau. On y parvient en chargeant ces accumulateurs pendant les périodes où la production photovoltaïque dépasse la consommation d'électricité actuelle, afin de restituer l'électricité pendant les périodes de faible production. Bilan du projet: l'utilisation d'un algorithme d'équilibrage de charge adapté au réseau permet de réduire considérablement les surcharges des lignes et des transformateurs concernés et, dans de nombreux cas, de les éviter complètement.

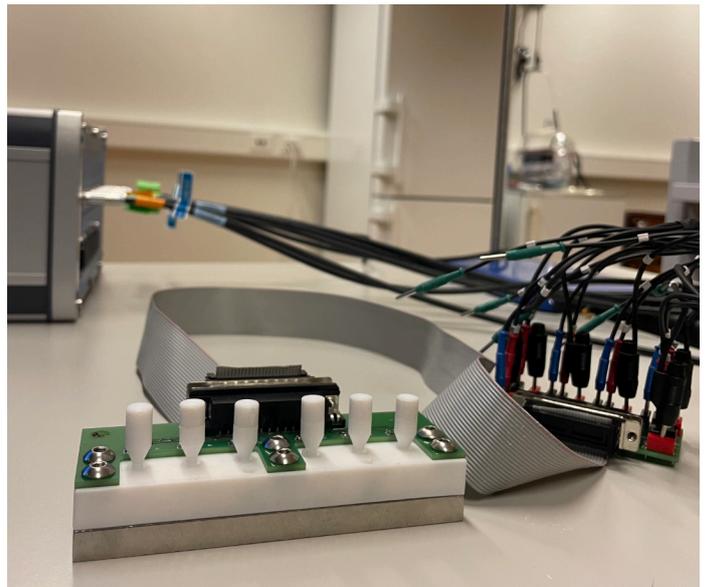
➤ Informations sur la **plate-forme d'innovation iBAT** : www.ibat.swiss

➤ Informations sur **Battrion** : <https://www.battrion.com>

PROJETS P+D DE L'OFEN

Une partie des projets présentés dans le texte principal a été soutenue par le programme pilote et de démonstration de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). Avec ce programme, l'OFEN encourage le développement et l'expérimentation de technologies, de solutions et d'approches innovantes qui contribuent de manière significative à l'efficacité énergétique ou à l'utilisation des énergies renouvelables. Les demandes d'aide financière peuvent être soumises à tout moment.

➤ www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration



Vue du « Laboratoire de dispositifs nanoélectroniques » de l'EPFL: structure de mesure avec six prototypes de supercondensateurs. Photo: EPFL

- Informations sur le projet pilote « High Performance Sodium Nickel Chloride Cell » (**HiPerSoNick**) pour le développement de l'accumulateur au chlorure de sodium et de nickel : www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=40914
- Informations sur le projet pilote et de démonstration « Swift energy charging Super-capacitor based on carbon nanotube arrays » (**Swistor**) pour le développement des supercondensateurs: www.aramis.admin.ch/Beteiligte/?ProjectID=47514
- Rapport final du projet de recherche « **Bat4SG** – Exploitation optimisée du réseau de stockage décentralisé des clients » : www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=45522
- Dr Stefan Oberholzer, directeur du programme de recherche de l'OFEN Batteries, communique des **informations** sur le projet : [stefan.oberholzer\[at\]bfe.admin.ch](mailto:stefan.oberholzer[at]bfe.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.