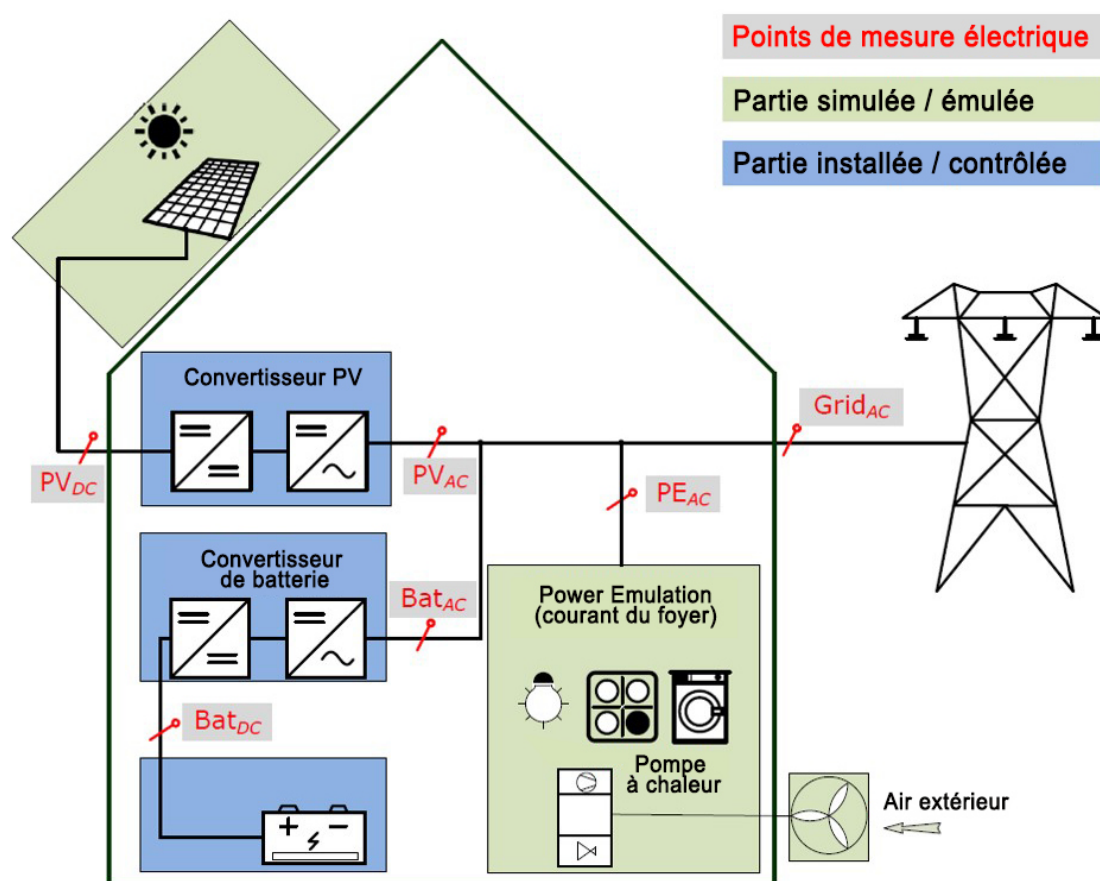


UNE ANNÉE RÉDUITE À TROIS JOURS

De plus en plus souvent, les installations photovoltaïques sont complétées par un système de stockage par batterie afin de pouvoir utiliser elles-mêmes l'énergie solaire dans une plus large mesure. Une équipe de chercheurs de la Haute école spécialisée de Suisse orientale a désormais conçu un cycle d'essai de trois jours pour de tels systèmes de stockage. Il permet de déterminer relativement précisément les chiffres clés annuels des installations de stockage et de quantifier les pertes de conversion. Les fabricants, les revendeurs, les installateurs, mais également le public intéressé, bénéficient des résultats des tests. Il est désormais possible de comparer objectivement les systèmes de stockage par batterie.

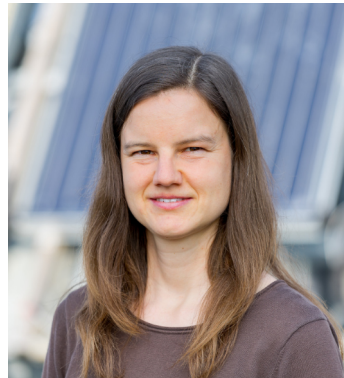


Installation du banc d'essai CCT-Bat, ici pour les systèmes à couplage CA, dans lesquels le courant continu est d'abord converti en courant alternatif puis de nouveau en courant continu avant d'être utilisé pour charger la batterie. Les composants du système de stockage par batterie testé sur le banc d'essai sont surlignés en bleu. Pour ce faire, la production d'électricité de l'installation PV et la consommation d'électricité du foyer sont émulées. Illustration: rapport final CCT-Bat

En 2020, la Suisse a installé plus de systèmes photovoltaïques (PV) que jamais auparavant: des modules solaires d'une puissance de 476 MW ont été installés de telle sorte que le parc solaire suisse présente désormais une puissance de pratiquement 3000 MW et couvre tout juste 5% de la consommation électrique nationale en courant solaire. Les «Statistiques 2020 de l'énergie solaire», établies par Swissolar sur mandat de l'OFEN, montre également que la tendance à l'utilisation du stockage par batterie se poursuit: leur vente a augmenté de 65% par rapport à l'année précédente. Parallèlement, 15% de toutes les installations photovoltaïques installées sur les toits des maisons individuelles sont combinées à un système de stockage de l'électricité. À la fin de 2020, la capacité de stockage en Suisse s'élevait à un total de 28 400 kWh. Les raisons d'installer des systèmes de stockage par batterie sont nombreuses, allant du désir d'augmenter l'autoconsommation à l'espoir d'éviter une baisse des tarifs de rachat, en passant par l'enthousiasme pour la technologie et l'alimentation de secours.

Batterie avec onduleur et commande

Le stockage par batterie est un élément important d'un système d'alimentation électrique basé sur le photovoltaïque. Par conséquent, il est d'autant plus important de connaître le comportement et la performance de tels systèmes. Ces connaissances ne sont pas encore suffisamment disponibles aujourd'hui, comme le souligne Evelyn Bamberger, chercheuse à l'Institut de technologie solaire SPF de la Haute école spé-



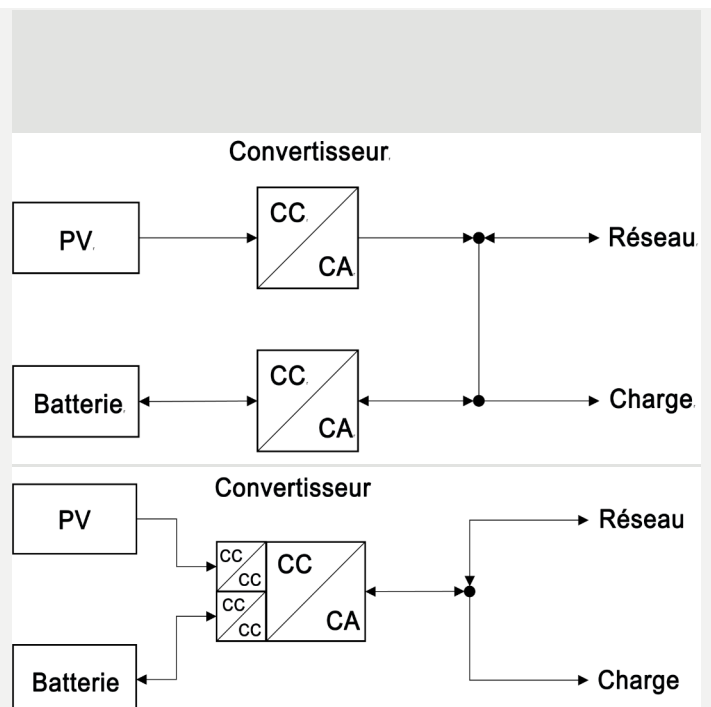
Responsable du projet CCT-Bat Evelyn Bamberger. L'ingénieure diplômée était auparavant responsable de la gestion de projets pour de grandes installations solaires dans une entreprise de technologie solaire. Depuis six ans, elle réalise des recherches à l'Institut de technologie solaire SPF de Rapperswil. Photo: privée

cialisée de Suisse orientale (OST) à Rapperswil: «Bien que les fabricants indiquent la capacité utile et la puissance de charge des batteries, et dans certains cas également le rendement maximal du module de batterie ou de l'onduleur, il n'existe généralement aucune information sur le comportement de l'ensemble du système en fonctionnement.»

Bamberger souhaite combler ces lacunes avec un cycle d'essai qu'elle a élaboré avec une équipe de l'OST dans le cadre d'un projet de l'OFEN. Le cycle d'essai permet d'obtenir les chiffres clés annuels pertinents d'un système de stockage par batterie dans le cadre d'une procédure d'essai de trois jours. Un système de stockage par batterie comprend la batterie (y compris le système de gestion de la batterie) et un ou plusieurs onduleurs qui convertissent le courant continu de la batterie en courant alternatif pour le réseau. Le troisième composant est le système de gestion de l'énergie qui contrôle les flux électriques de telle sorte que le courant excédentaire

COUPLAGE CA OU COUPLAGE CC

Les installations PV produisent du courant continu, les batteries stockent du courant continu mais le réseau électrique fonctionne au courant alternatif. Pour la conversion nécessaire du courant continu en courant alternatif, les systèmes de stockage par batterie connaissent deux types de jeux différents, à peu près aussi répandus: Dans les systèmes à couplage CA, le courant continu du système PV est converti en courant alternatif par un convertisseur. Ce courant est alors disponible pour le foyer ou peut être injecté dans le réseau. Pour stocker de l'électricité, le courant alternatif doit être transformé en courant continu par un deuxième onduleur. Dans les systèmes à couplage CC, le courant continu de l'installation solaire circule directement dans la batterie (la tension doit être ajustée à l'aide d'un convertisseur CC-CC). Ces systèmes requièrent uniquement un convertisseur de courant continu en courant alternatif. BV



soit stocké ou la batterie déchargé au moment souhaité. La batterie de stockage est disponible en tant que système à couplage CA ou CC (cf. p. 2).

Trois jours suffisent

Ce qu'un système de stockage par batterie (en bref: batterie de stockage) fournit se calcule sur la base des informations du fabricant, le cas échéant également à l'aide d'un logiciel de simulation comme Polysun. Pour déterminer si ces valeurs sont réellement applicables, la batterie de stockage doit être exploitée dans des conditions réelles. Il est possible d'y parvenir en connectant la batterie à des émulateurs capables d'absorber des courants réels (charge de l'énergie PV) et de les délivrer (décharge vers le foyer ou le réseau), imitant ainsi de manière réaliste les conditions de fonctionnement réelles (concept hardware-in-the-loop). C'est exactement l'approche du nouveau processus d'essai de l'OST: la batterie de stockage à tester y est exploitée dans un laboratoire pendant trois jours en tant que matériel dans la boucle (Loop) dans des conditions proches de la réalité.

Les trois jours du cycle d'essai correspondent à une journée typique en été, en hiver et pendant la transition. En principe, la batterie de stockage fonctionne comme au cours de ces



Rayonnement global (c'est-à-dire le rayonnement solaire atteignant les modules PV) du profil d'essai de trois jours. Le premier jour correspond à un jour d'été, le deuxième à un jour de la saison de transition, le troisième à un jour d'hiver. Graphique: rapport final CCT-Bat



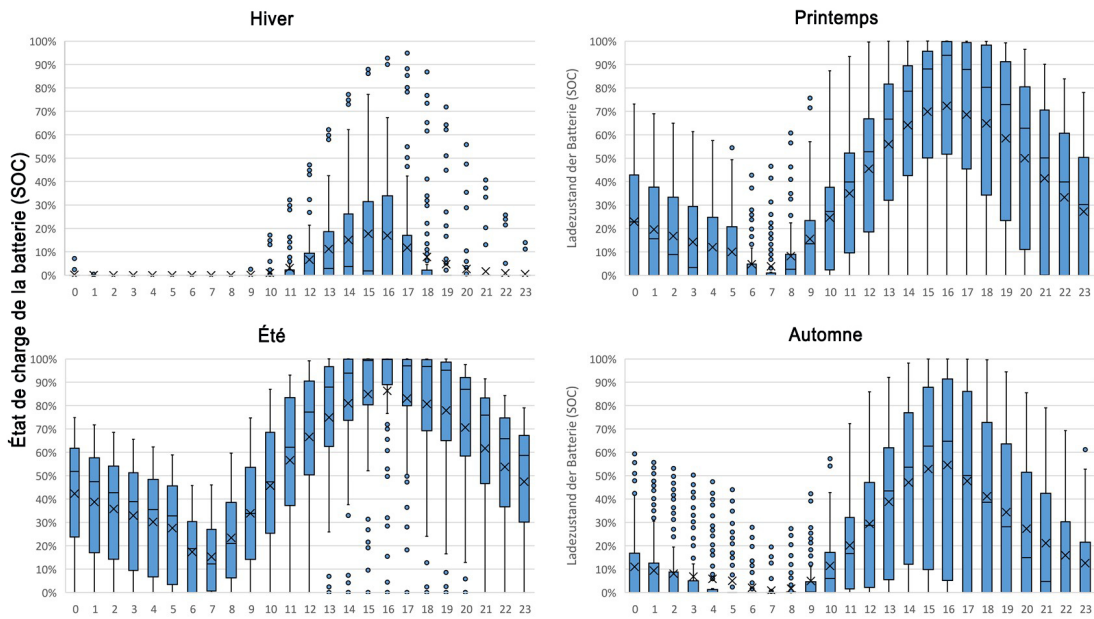
Avec ces émulateurs de la société Regatron (à gauche) et Delta Elektronika (à droite), il est possible de générer des puissances jusqu'à 10 kW respectivement 45 kW. Ils permettent de tester les systèmes de stockage par batterie dans des conditions réalistes. Photo: SPF

CONCISE CYCLE TEST POUR SYSTÈMES DE BATTERIE

Le cycle d'essai présenté dans le texte principal n'est que la dernière variante d'une procédure d'essai utilisée depuis longtemps, pour laquelle la désignation anglaise «Concise Cycle Test» (CCT) est également utilisée. Les Concise Cycle Tests, essais de cycle concis en français, ont été développés à l'origine à l'Institut de technologie solaire SPF de Rapperswil pour tester les systèmes solaires thermiques en combinaison avec des chaudières au fioul et à gaz. L'idée de base: une installation solaire est testée pendant quelques jours dans des conditions choisies de manière à ce que les résultats des mesures représentent le comportement de l'installation pendant une année entière de fonctionnement ou que les valeurs annuelles puissent être extrapolées.

Autrefois, les cycles d'essai duraient douze jours, puis six jours, et aujourd'hui, dans le cas du stockage sur batterie, trois jours. Ces trois jours représentent un jour d'été typique, un jour d'hiver typique et un jour typique de la période de transition. Grâce à de nombreux essais, erreurs et optimisations, l'équipe de recherche de l'OST est parvenue à concevoir le profil d'essai du CCT-Bat (Concise Cycle Test pour batteries de stockage) de telle sorte que les valeurs de cette période d'essai relativement courte puissent être extrapolées sur un an. Le profil d'essai est basé sur les données météorologiques de la ville de Zurich, la consommation d'électricité des foyers moyens et un système photovoltaïque qui produit sur l'année autant d'énergie solaire que le foyer en consomme. Il existe un profil d'essai pour une maison individuelle et un autre pour un immeuble.

Le cycle d'essai montre l'efficacité ou les pertes d'un système de stockage par batterie testé, ainsi que la mesure dans laquelle il atteint son objectif (par exemple, augmentation de l'autoconsommation, utilisation des tarifs, limitation de la puissance). La dégradation de la batterie (perte de capacité de stockage liée à l'âge) n'est pas directement prise en compte dans le cycle d'essai. Cependant, dans la mesure où le cycle d'essai enregistre le nombre de cycles de charge-décharge et l'état de charge (SOC), il est possible de tirer des conclusions sur la dégradation. BV



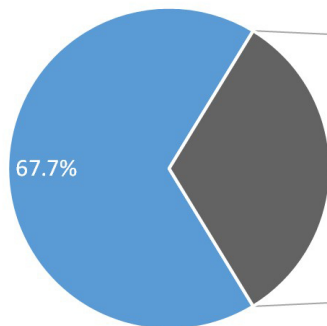
État de charge de la batterie pendant une journée typique des quatre saisons (ici pour le stockage par batterie d'un immeuble), illustré par des diagrammes box plot. Les croix (x) indiquent pour chaque heure de la journée le niveau de charge que la batterie a en moyenne sur toutes les valeurs saisonnières (valeurs médianes). Les rectangles de couleur bleue marquent la zone dans laquelle se trouve la moitié des valeurs, les points représentent les valeurs hors norme. Graphique: rapport final CCT-Bat

trois jours sélectionnés. Par le biais de simulations élaborées et de répétitions avec des variables d'influence changeantes, les chercheurs de l'OST ont développé le profil de l'essai (c'est-à-dire: Production PV et consommation du foyer) de telle sorte que les valeurs de mesure des trois jours peuvent être extrapolées à une année. Le cycle d'essai permet ainsi de quantifier avec un haut degré de fiabilité le comportement de la batterie de stockage étudiée au cours d'une année. Ou bien comme l'exprime Evelyn Bamberger: «Grâce à notre cycle d'essai, nous pouvons montrer dans le court laps de temps de trois jours si un système de stockage par batterie est en mesure de tenir ses promesses.»

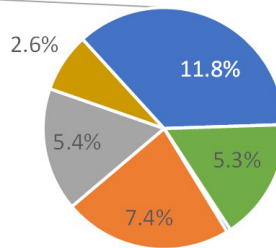
Différences entre onduleur et commande

Une fois le cycle d'essai en place, les scientifiques l'ont mis à l'épreuve: ils ont fait passer quatre batteries de stockage pour maisons individuelles (capacité de charge comprise entre 2,25 et 7,7 kWh) par le cycle d'essai. Il s'est avéré que le cycle d'essai fonctionne et permet une comparaison entre les systèmes dans la mesure où chaque cycle d'essai est réalisé dans les mêmes conditions (météo, profil d'alimentation PV, profil de consommation du foyer). L'efficacité totale des quatre batteries de stockage se situait entre 88 et 92%. Cette grandeur indique quelle partie du rendement PV peut être utilisée via la batterie, mais également via la consommation

Efficacité cycle CA

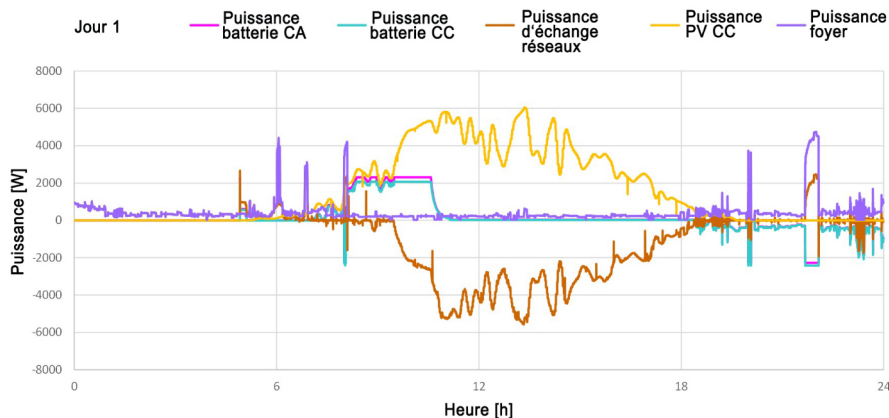


Pertes



- Charge CA2CC
- Décharge CC2CA
- Veille pleine charge
- Veille à vide
- Module de batterie
- Non assignable

Pertes d'un des systèmes de stockage par batterie étudiés (ici: couplage CA) pendant un cycle charge-décharge («Efficacité cycle CA»): Les pertes sont causées par la redirection nécessaire du courant lors de la charge et de la décharge, par les pertes de veille pendant les phases de repos et par la batterie. Dans ce cas, les pertes s'élèvent à près d'un tiers de la quantité d'électricité stockée et sont ainsi relativement élevées. L'efficacité du système global doit être distinguée de l'efficacité du cycle CA: elle indique quelle partie du rendement PV peut être utilisée via la batterie, mais également via la consommation directe ou l'alimentation du réseau. L'efficacité du système global est d'environ 90%. Graphique: Rapport final CCT-Bat



Courbe de mesure d'une batterie de stockage (ici: couplage CA) pendant le premier jour du cycle d'essai. Le jour 1 représente l'été. Les cinq courbes de puissance représentent chacune la puissance de la batterie CA (rose), la puissance de la batterie CC (vert), la puissance d'échange du réseau (marron), la puissance PV en CC (jaune) et le prélèvement du foyer (violet). Au jour 1, par exemple, on peut voir que le stockage est chargé dans la matinée et qu'ensuite, parce que la capacité d'absorption de la batterie est épuisée, une quantité beaucoup plus importante d'énergie PV est fournie au réseau relativement rapidement. Graphique: rapport final - CCTBat

directe ou l'alimentation du réseau. Un rendement global du système de 88 à 92% signifie donc que les batteries de stockage réduisent la quantité d'électricité solaire utilisable d'environ 10% (bien que certaines pertes de conversion se produisent même sans batteries de stockage dans la mesure où un onduleur est nécessaire dans tous les cas). La part de l'électricité autoproduite dans l'électricité autoconsommée (degré d'autosuffisance) se situait entre 35 et 47%.

Dans leur rapport final à l'attention de l'OFEN, les scientifiques soulignent que les systèmes de stockage par batterie se distinguent principalement au niveau des onduleurs et de la commande (système de gestion de l'énergie), tandis que les batteries (technologie lithium-ion dans les quatre cas) ne présentent pratiquement aucune différence. «Les pertes de conversion et de veille représente une différence essentielle entre les systèmes», constate l'équipe d'auteurs dans le rapport final de l'OFEN (cf. Illustration p. 4).

Intégration de l'énergie grise

Les scientifiques de l'OST souhaitent affiner le cycle d'essai à l'avenir. Il doit être modifié de manière à pouvoir également tester les systèmes de batteries équipés de contrôles basés sur les prévisions. Ils s'appuient sur les données de production et de consommation passées pour prévoir le rendement photovoltaïque et la consommation d'électricité des foyers à l'avenir; certains incluent également une prévision météorologique. Les algorithmes de telles commandes sont le résultat de processus d'apprentissage automatiques. Une phase d'apprentissage spéciale doit être mise en œuvre pour former les algorithmes. Auparavant, le profil de trois jours était répété plusieurs fois pour l'apprentissage, ce qui entraînait un certain effet d'apprentissage. Cependant, l'ordre des jours de test est atypique tant du côté de la consommation que de la

production, ce qui complique le processus d'apprentissage de l'algorithme. Les résultats des tests ne peuvent donc pas nécessairement être extrapolés aux conditions limites choisies dans l'année.

Les contrôles basés sur les prévisions sont nécessaires si les systèmes de batteries doivent être utilisés non seulement pour augmenter l'autoconsommation, mais également, par exemple, pour limiter l'alimentation du réseau ou la puissance d'achat du réseau ou d'autres services de réseau, pour exploiter les tarifs flexibles de l'électricité ou pour contrôler les consommateurs flexibles tels que les pompes à chaleur ou les véhicules électriques. Un autre axe de recherche de l'OST consiste à évaluer l'impact environnemental des différents systèmes de batteries, comme l'énergie grise nécessaire à leur fabrication, en plus de leur efficacité et de leur fonctionnalité.

- Le **rapport final** du projet «CCT-Bat – test du système de batteries domestiques» est disponible sur : www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=67434
- Les **questions** relatives à l'application de la nouvelle procédure d'essai sont traitées par Evelyn Bamberger : [evelyn.bamberger\[at\]spf.ch](mailto:evelyn.bamberger[at]spf.ch).
- Le Dr Stefan Oberholzer, responsable du programme de recherche de l'OFEN sur les batteries communique des **informations** sur les projets de recherche : [stefan.oberholzer\[at\]bfe.admin.ch](mailto:stefan.oberholzer[at]bfe.admin.ch).
- Vous trouverez d'autres **articles spécialisés** dans le domaine des batteries : www.bfe.admin.ch/ec-batteries.