UN ACCUMULATEUR DE CHALEUR COMPACT

Des matériaux de stockage utilisant le changement de phase entre l'état liquide et l'état solide peuvent absorber et restituer une grande quantité d'énergie. Ils permettent de construire des accumulateurs qui, avec un volume identique, stockent nettement plus de chaleur qu'un chauffe-eau. Un projet pilote encouragé par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a testé ce concept de stockage dans une maison individuelle des Grisons. Les expériences acquises lors des essais pratiques ont permis de développer et de commercialiser un nouveau type de stockage compact.



Chaque capsule de l'accumulateur étudié dans le cadre du projet pilote contient 110 ml de PCM à base d'hydrate de sel. Photo : rapport final SunStore

Article spécialisé concernant les connaissances acquises lors d'un projet P+D dans le domaine des pompes à chaleur et du froid soutenu financièrement par l'Office fédéral de l'énergie. L'article a été publié, entre autres, dans le magazine spécialisé ET Elektrotechnik (édition mars 2026).

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Ufficio federale dell'energia UFE

Quiconque était attentif en cours de physique le sait : lorsque l'eau à 0°C se transforme en glace à 0°C, une grande quantité d'énergie thermique est libérée, à savoir environ la quantité nécessaire pour chauffer la même quantité d'eau de 0 à 80°C. À l'inverse, une quantité de chaleur équivalente est nécessaire pour faire fondre de la glace à 0°C et obtenir de l'eau à 0°C. Il s'agit dans ce cas de chaleur latente, c'est-à-dire cachée dans le changement de phase, contrairement à la chaleur sensible qui est fournie lors du chauffage de l'eau ou libérée lors de son refroidissement et qui se manifeste par un changement de température.

L'eau effectue ce changement de phase riche en énergie entre l'état liquide et l'état solide à 0 degré. D'autres matériaux à changement de phase (en anglais: Phase Change Material/PCM) ont une température de fusion différente. Pour un PCM spécifique à base d'hydrates de sel, par exemple, cette température est de 45°C. Grâce à cette température de fusion, le matériau convient à la construction d'un accumulateur de chaleur performant. Un tel accumulateur fonctionne généralement dans une plage de température comprise entre 50°C (chargé) et 35°C (déchargé). S'il utilise un PCM en plus de l'eau comme moyen de stockage, il stocke l'énergie sous forme de chaleur sensible de l'eau et du PCM, ainsi que sous forme de chaleur latente du PCM.



Ce réservoir de chauffage d'une capacité de 762 litres a été rempli de capsules PCM dans le cadre du projet. Photo : rapport final SunStore


Le stockage PCM a été testé en conditions réelles dans une maison individuelle située dans le village grison de Pany. Photo : rapport final SunStore

Pilote dans le Prättigau

Un tel accumulateur PCM était au cœur d'un projet pilote de l'OFEN mené à près de 1 200 mètres d'altitude dans le village grison de Pany. L'accumulateur se composait d'une cuve en acier d'une capacité de 762 litres. Celui-ci contenait 280 litres d'eau et 3 500 petites capsules renfermant le PCM susmentionné. Grâce au PCM, le stockage avait, d'un point de vue purement mathématique, trois fois et demie plus de capacité de stockage qu'un accumulateur à eau de même taille (39,9 kWh contre 11,2 kWh). L'accumulateur était chargé par une pompe à chaleur air-eau et utilisé pour chauffer une maison individuelle avec un appartement annexe. Le système énergétique du bâtiment comprenait également une installation photovoltaïque (17 kW_p) et un accumulateur (capacité de 7,7 kWh).

L'Institut de technique énergétique (IET) de la Haute école spécialisée de Suisse orientale (OST) à Rapperswil a testé le système énergétique de 2021 à 2025 pendant quatre périodes de chauffage dans des conditions réelles. Au cours de la première période de chauffage, le réservoir de stockage était uniquement rempli d'eau. Au cours des trois années suivantes, différents types de capsules PCM y ont été ajoutés. Jamais auparavant un accumulateur PCM n'avait été testé de cette manière dans le cadre d'un système de chauffage réel.

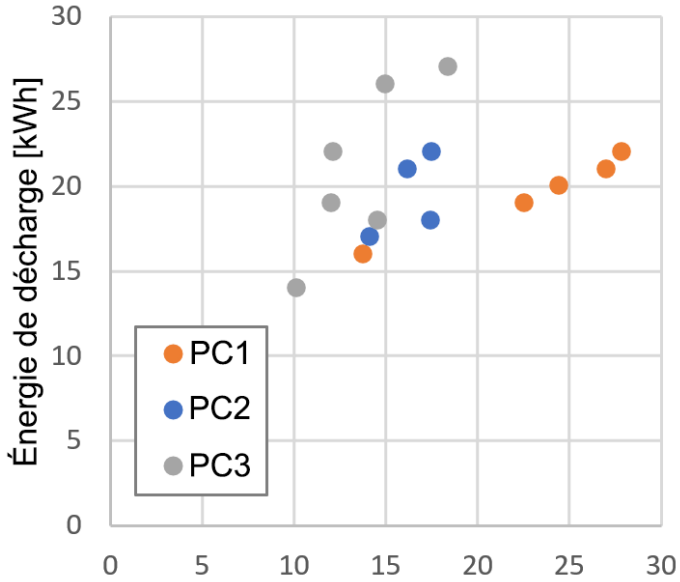
Jusqu'à 80% de capacité de stockage en plus

L'accumulateur a fait ses preuves dans le cadre d'un essai pilote : le concept de stockage a globalement bien fonctionné, tout comme la manipulation des capsules PCM, par exemple lors du remplissage et du remplacement. Malgré l'utilisation du PCM, des composants standard ont pu être utilisés pour le réservoir de l'accumulateur, la pompe à chaleur et le reste du système de chauffage. Les résultats des mesures montrent que le PCM a permis d'augmenter la capacité de jusqu'à 80% par rapport à un pur accumulateur à eau. Ainsi, environ un quart du potentiel théorique a été effectivement exploité.

Grâce à la capacité de stockage accrue, une plus grande quantité d'électricité solaire produite sur place a pu être utilisée dans le bâtiment pilote : L'électricité qui n'était pas nécessaire pour les appareils électriques du bâtiments a été convertie en eau chaude à l'aide d'une pompe à chaleur et stockée sous forme de chaleur dans l'accumulateur PCM. La part de l'électricité autoproduite dans la consommation totale d'électricité (appelée taux d'autoconsommation ou taux d'autosuffisance) a ainsi pu passer de 21 à 35-40%. Carsten Wemhöner, scientifique à l'OST, déclare à ce sujet : « L'amélioration de la capacité de stockage et du taux d'autoconsommation devrait être essentiellement attribuable aux capsules PCM, mais les influences climatiques ou les changements de comportement des utilisateurs pourraient également avoir joué un rôle. » D'un point de vue financier, une meilleure utilisation de sa propre énergie solaire est intéressante. Ces recettes supplémentaires sont toutefois contrebalancées par les coûts supplémentaires liés à l'accumulateur PCM. Selon les chercheurs de l'OST, le délai d'amortissement de ce nouveau type d'accumulateur est, « dans le meilleur des cas », de 12 ans.

Un transfert thermique insuffisant

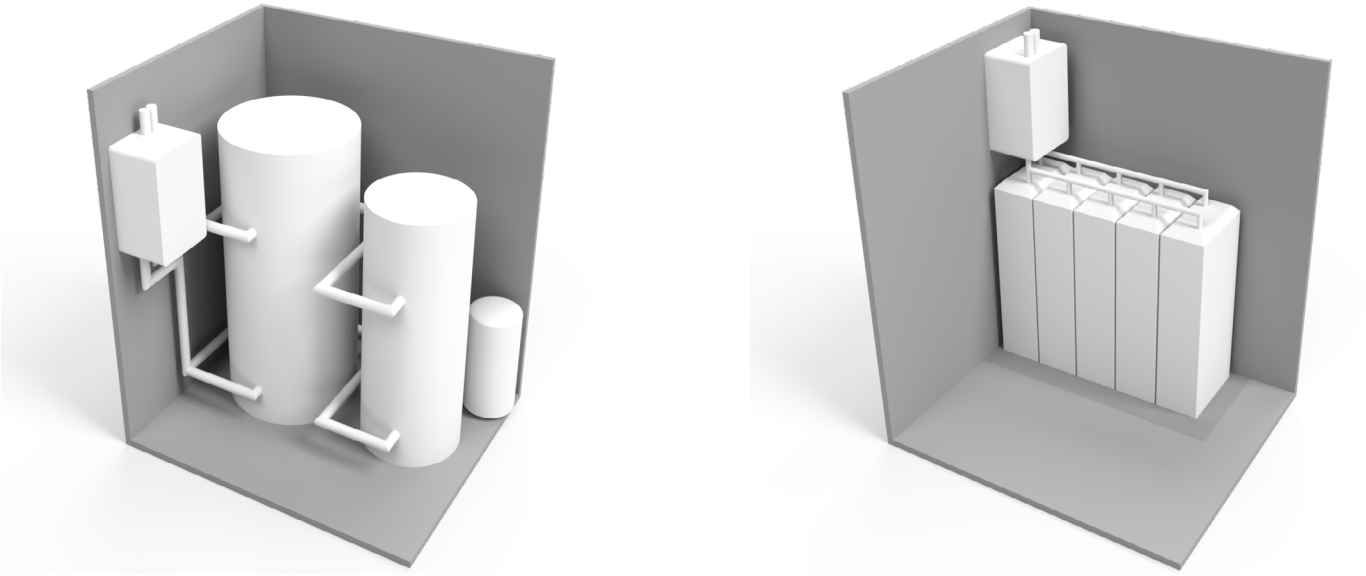
Le projet pilote a également mis en évidence les points faibles des matériaux à changement de phase. Les performances de chargement et de déchargement de l'accumulateur PCM sont donc restées en deçà des attentes et, dans la pratique, la capacité de stockage élevée des capsules PCM n'a pas pu être exploitée comme souhaité. À l'origine, on s'attendait à ce que la pompe à chaleur fonctionne avec un rendement supérieur (coefficient de performance annuel) grâce à l'accumulateur PCM, car celui-ci lui permet de fournir de la chaleur à des températures plus basses qu'un accumulateur à eau. Les scientifiques de l'OST n'ont toutefois pas pu démontrer cette utilité dans la pratique. La capacité de stockage



Le graphique montre l'énergie qui a pu être récupérée à partir de l'accumulateur PCM lors de différents processus de décharge avec diverses différences de température. Au cours de la période de chauffage 1 (PC 1), l'accumulateur était rempli uniquement d'eau, tandis que lors des périodes de chauffage 2 et 3, il contenait également des capsules PCM qui ont augmenté sa capacité. Exemple de lecture: lors d'un processus de décharge de 50 à 35°C (différence de température de 15 degrés), environ 16 kWh de chaleur ont pu être extraits de l'accumulateur pendant la PC 1, et jusqu'à environ 26 kWh pendant les PC 2 et 3. Avec cette différence de température, la capacité de stockage avec PCM est ainsi jusqu'à 60% supérieure à celle obtenue avec de l'eau seule. Certains jours, les chercheurs de l'OST ont même pu mesurer des augmentations de capacité de 80%. Graphique : rapport final SunStore

étonnamment faible a entraîné une augmentation du nombre de cycles marche/arrêt de la pompe à chaleur. « C'est préjudiciable, car cela réduit la durée de vie de la pompe à chaleur et réduit son efficacité », explique Christoph Meier, scientifique à l'OST. « En effet, après chaque mise en marche, la pompe à chaleur a besoin de quelques minutes pour fonctionner de manière optimale. »

La cause de cette performance insatisfaisante réside dans le transfert thermique limité entre les capsules PCM et l'eau : lorsque l'accumulateur est déchargé, la température de l'eau baisse d'abord de 50 à 45°C, puis les capsules PCM commencent à se solidifier (lorsqu'elles libèrent de la chaleur). Ce processus se produit depuis la surface de la capsule vers l'intérieur, formant ainsi une couche solidifiée qui empêche la chaleur stockée à l'intérieur des capsules de s'échapper vers l'extérieur. En conséquence, la température dans l'eau continue de baisser et le circuit de chauffage ne dispose rapi-



Comparaison des dimensions dans la chaufferie d'une maison individuelle à Pany : à gauche, les anciens accumulateurs de chaleur (remplis de capsules PCM dans le cadre du projet pilote) et un deuxième accumulateur pour l'eau chaude sanitaire. À droite : le nouvel accumulateur compact développé par Cowa pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire, installé en octobre 2025. Illustration : rapport final SunStore

dement plus d'assez de chaleur (par exemple 40°C) – à l'intérieur des capsules, en revanche, il y aurait encore 45 degrés de chaleur disponibles, mais celle-ci ne peut pas être évacuée assez rapidement des capsules. En bref : l'accumulateur PCM ne se décharge pas complètement.

Une nouvelle tentative pour un accumulateur compact

Pour la société Cowa Thermal Solutions AG, qui a développé le système de stockage PCM, la faible puissance de charge et de décharge constituait un problème fondamental, car elle remettait en question la rentabilité de ce nouveau type de stockage : « Nous aurions pu tenter d'augmenter la conductivité thermique du PCM ou de réduire la taille des capsules », explique Philipp Roos, directeur de recherche chez Cowa. « Les expériences tirées du projet pilote nous ont toutefois incités à repenser notre accumulateur PCM avant même la fin du projet pilote de l'OFEN. »

Pour ainsi dire, la nouvelle conception de l'accumulateur bouleverse le concept initial : désormais, l'eau ne circule plus autour du PCM mais à travers. Pour ce faire, un échangeur thermique composé de tubes en cuivre avec des ailettes en aluminium est placé dans un réservoir rempli de PCM. La nouvelle conception augmente la surface spécifique pour l'échange thermique entre le PCM et l'eau. En conséquence, le stockage peut être chargé et déchargé avec une puissance plus élevée. Cet accumulateur PCM est déjà commercialisé en Suisse en collaboration avec l'entreprise de chauffage Meier Tobler. Il est désormais installé dans 40 bâtiments ainsi que dans une maison individuelle de Pany depuis octobre 2025.

Les pompes à chaleur remplacent les chauffe-eau à gaz

Le nouvel accumulateur peut également faire office de chauffe-eau instantané pour l'eau potable. Dans cette application, il faut toutefois tenir compte du fait que la température de l'eau chaude est relativement basse. Dans le cas de Pany,

DES MATÉRIAUX PCM

Le développement et la fabrication de matériaux à changement de phase (PCM) nécessitent des connaissances approfondies des processus chimiques et thermodynamiques. Les accumulateurs PCM de la société Cowa Thermal Solutions reposent sur un matériau à changement de phase à base d'hydrate de sel. Ces PCM ont fait et font toujours l'objet de recherches à la Haute école de Lucerne. Ce domaine de recherche a donné naissance en 2019 à la spin-off Cowa Thermal Solutions, basée à Root (LU). Depuis, Cowa continue de développer le PCM dans son propre laboratoire et en coopération avec l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) et l'adapte aux besoins de ses clients.

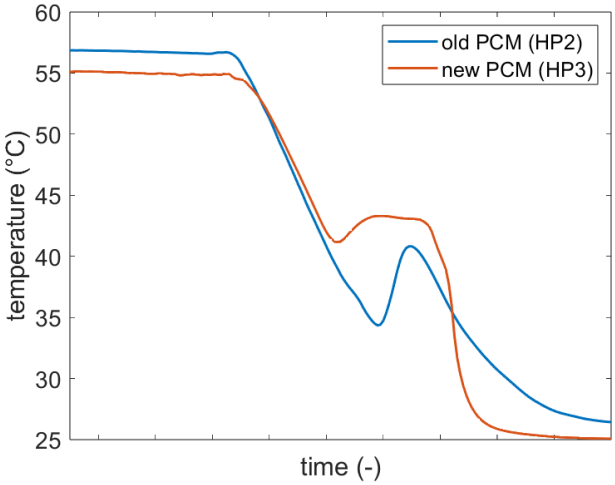
celle-ci n'est que d'environ 40°C, contrairement aux 50 à 60°C d'un chauffage traditionnel. Pour garantir une bonne hygiène, l'accumulateur doit être chauffé une fois par semaine à 65°C. Pour obtenir une température d'eau chaude plus élevée, il est également possible d'utiliser un PCM avec, par exemple, un point de fusion à 58°C, associé à une pompe à chaleur fournissant des températures jusqu'à 70°C.

Outre Cowa, des entreprises telles qu'Axiotherm et Sunamp s'efforcent également de construire des accumulateurs PCM. Philipp Roos considère ces accumulateurs comme des « batteries thermiques » susceptibles de contribuer à la décarbonisation du secteur du bâtiment : « Les accumulateurs PCM permettent par exemple de remplacer les chauffe-eau instantanés à gaz par des appareils compacts composés d'une pompe à chaleur et d'un accumulateur. Les accumulateurs PCM de la société Cowa sont certes encore environ deux fois plus chers que les accumulateurs à eau, mais ils permettent de mettre en place des solutions de chauffage sans énergie fossile dans des espaces restreints, ce qui pose un problème important dans de nombreuses maisons individuelles et immeubles existants. »

- Le **rapport final** du projet « SunStore – réservoir tampon latent et compact pour pompes à chaleur fonctionnant à l'énergie photovoltaïque » est disponible sur https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=49316.

- Men Wirz (men.wirz@bfe.admin.ch) et Stephan Renz (info@renzconsulting.ch), directeur externe du programme de recherche Pompes à chaleur et froid, fournit des **informations** sur le projet au nom de l'OFEN.

- Vous trouverez plus d'**articles spécialisés** concernant les projets pilotes, de démonstration et les projets phares dans le domaine des pompes à chaleur et du froid ici.



Analyse détaillée de deux différents type de capsules PCM utilisés dans le cadre du projet pilote à Pany pendant les période de chauffage 2 et 3. Les courbes montrent le sous-refroidissement lors du processus de solidification. Le sous-refroidissement signifie que le PCM descend d'abord en dessous de la température de solidification réelle avant de commencer à se solidifier. Ce n'est que lors du processus de solidification que l'enthalpie de solidification (ou, pour simplifier, l'énergie de solidification) est libérée. Cela signifie que la courbe bleue était encore en mode sensible jusqu'à moins de 34°C, puis la solidification a commencé et le PCM s'est réchauffé. Avec le PCM rouge, le sous-refroidissement est moindre, ce qui permet également de maintenir une température plus élevée dans l'eau de chauffage. Graphique : rapport final SunStore

Auteur : Benedikt Vogel, sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN)
Version : avril 2026