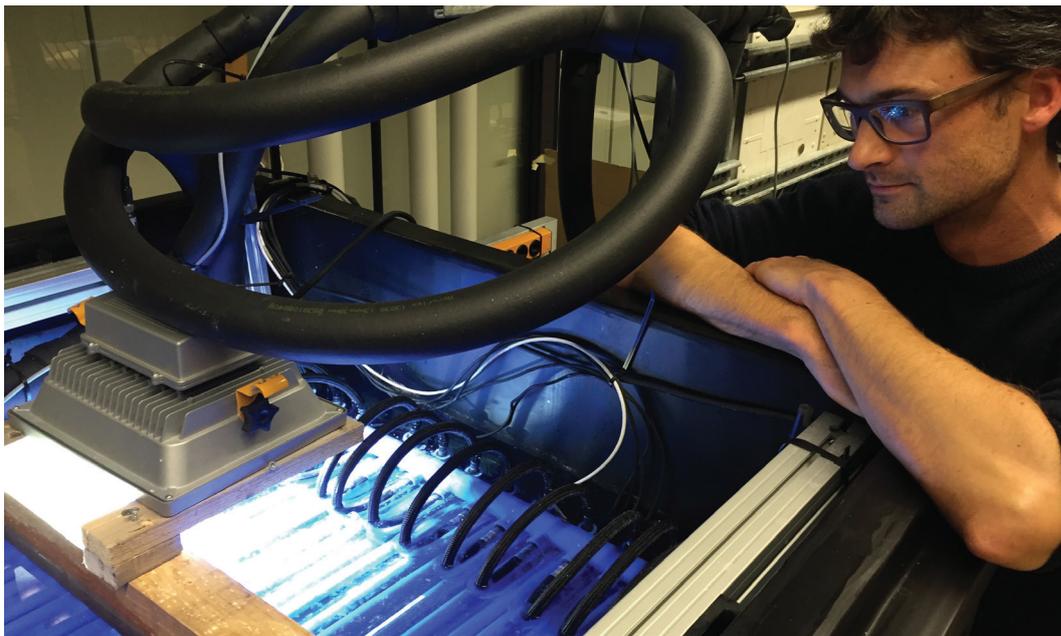


# La chaleur de la glace

Les accumulateurs de glace ne sont autres que des bacs remplis d'eau. Leur structure est aussi simple que les accumulateurs de glace sont efficaces pour accumuler la chaleur. À Rapperswil-Jona (SG), la centrale électrique locale teste l'aptitude à l'usage courant de la technologie depuis trois années. L'Institut pour la technique solaire de l'École Technique Supérieure de Rapperswil fournit les fondements scientifiques.



Daniel Philippen avec l'accumulateur de glace dans le laboratoire de l'Institut pour la technique solaire de l'École Technique Supérieure de Rapperswil. Photo : B. Vogel

Dr. Benedikt Vogel, sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN)

Avec 26 000 habitantes et habitants, Rapperswil-Jona est la seconde plus grande ville du canton de Saint-Gall. Le fournisseur d'énergie local est la centrale électrique Jona-Rapperswil AG (EWJR). La société anonyme qui détient une participation de 20 % à la ville ne fournit pas seulement l'électricité mais également des systèmes de pompes à chaleur prêts à l'emploi en tant qu'entreprise générale. Plus de 600 installations de ce type sont actuellement en service. Afin de réduire les

besoins électriques des systèmes de chauffage par pompe à chaleur, le directeur général de EWJR Ernst Gossweiler a un nouvel objectif en vue : « Selon leur type, les pompes à chaleur actuellement utilisées fonctionnent avec un coefficient de performance annuel d'env. 3 à 4. Cela signifie qu'ils génèrent 3 à 4 fois plus de chaleur que l'électricité consommée. Cette valeur est bonne mais une valeur de 6 et plus serait préférable », affirme Gossweiler.

Pour atteindre cet objectif, Ernst Gossweiler mise sur des systèmes de chauffage qui

Article spécialisé concernant les connaissances acquises lors d'un projet de recherche dans le domaine de la chaleur solaire et l'accumulation de chaleur soutenu financièrement par l'Office fédéral de l'énergie. L'article a été publié, entre autres, dans le magazine spécialisé HK Gebäudetechnik (édition février 2016).



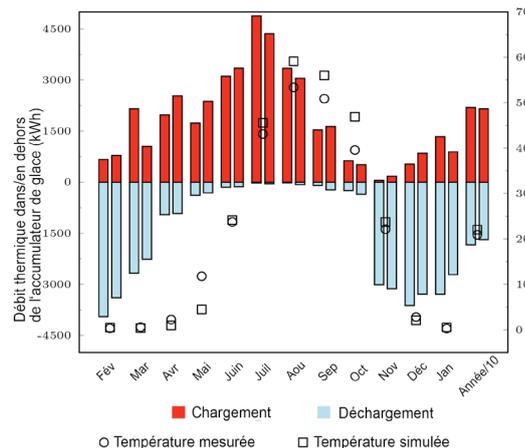
Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

## 2 La chaleur de la glace

combinent la pompe à chaleur avec des collecteurs solaires et un accumulateur de glace. Dans ce cas, la pompe à chaleur n'utilise pas l'air ambiant ou la chaleur géothermique comme source de chaleur mais la chaleur des collecteurs solaires ou la chaleur solaire déposée dans l'accumulateur de glace. La pompe à chaleur est en repos la plupart du temps lorsque le soleil brille : les collecteurs atteignent des températures élevées de plus de 50 °C et l'eau chaude peut être générée directement ; en cas de températures supérieures à 30°, le chauffage peut être alimenté directement. Si la température de l'eau des collecteurs est inférieure à 30 °C, la pompe à chaleur se charge de l'augmenter ou dépose l'eau dans le collecteur de glace. La chaleur solaire est toujours dirigée dans l'accumulateur de glace lorsqu'elle n'est pas requise dans le bâtiment et que le chauffe-eau est déjà chargé.

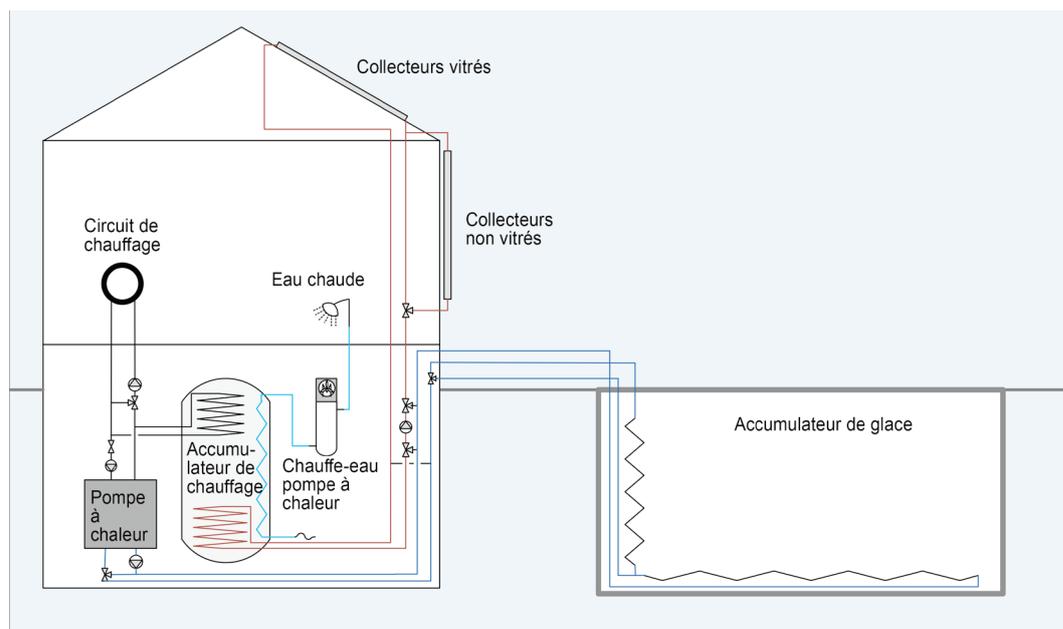
L'accumulateur solaire accumule la chaleur pendant des jours, des semaines et des mois. Cette chaleur peut ainsi être transférée de l'été jusqu'en hiver. « Combiné avec les collecteurs, l'accumulateur de glace nous permet de recourir toujours très efficacement à la pompe à chaleur », affirme Gossweiler.



*L'accumulateur de glace se recharge principalement le printemps et l'été. Mais la chaleur solaire est également utilisée de temps en temps en hiver pour faire fondre la glace. De décembre à avril, l'accumulateur est gelé et sa température est de 0 °C. Graphique : SPF*

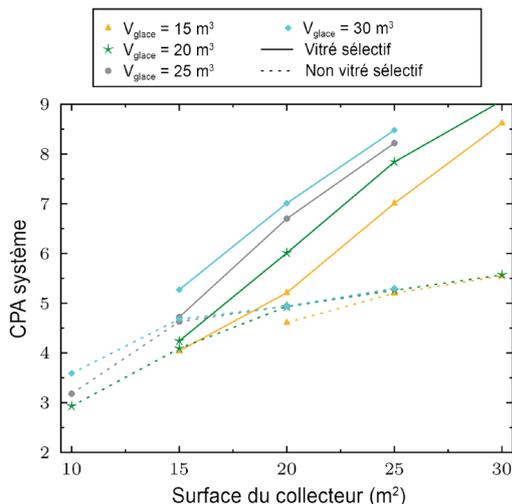
### Rapperswil-Jona teste l'accumulateur de glace

La centrale électrique Jona-Rapperswil AG a déjà acquis de l'expérience avec le système d'accumulateur de glace. Depuis février 2013, une pompe à chaleur eau glycolée/eau (17 kW) alimente une école maternelle (surface de référence énergétique de 360 m<sup>2</sup>) de Rapperswil-Jona en eau de chauffage et en eau chaude (l'eau chaude est relativement peu re-

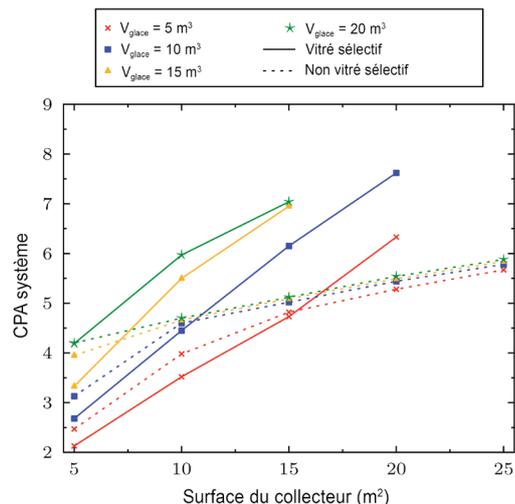


*Représentation schématique d'un système de chauffage composé d'une pompe à chaleur, de collecteurs solaires (vitrés/non vitrés) et d'un accumulateur de glace. Graphique : SPF*

### 3 La chaleur de la glace



La simulation montre l'influence de la taille de l'accumulateur de glace (de 15 à 30 m³) sur le coefficient de performance annuel (CPA) du système pour une des maisons témoins analysées à Davos. L'application de collecteurs vitrés et d'un accumulateur de glace volumineux permet d'atteindre de hauts coefficients de performance annuels. Graphique : SPF



La simulation montre l'influence de la taille de l'accumulateur de glace (de 5 à 20 m³) sur le coefficient de performance annuel (CPA) du système pour une des maisons témoins analysées à Locarno. L'application de collecteurs non vitrés permet d'atteindre de hauts coefficients de performance annuels en comparaison. Graphique : SPF

quise). 64 m² de collecteurs solaires dont 14 m² non vitrés font office de source de chaleur. Les collecteurs non vitrés n'utilisent pas uniquement l'énergie de rayonnement mais également la chaleur de l'air ambiant et sont ainsi équipés pour assurer le rendement sur la plage des basses températures. L'accumulateur de glace (75 m³) correspondant se compose d'une cuve en béton souterraine. Le coefficient de performance annuel du système intégré dans la construction existante (relativement mal isolée) est de 5. Si les besoins en eau chaude étaient supérieurs, par exemple comme dans les bâtiments d'habitation, il serait possible d'atteindre un coefficient de performance annuel supérieur dans la mesure où l'eau chaude est essentiellement mise à disposition par les collecteurs pendant les mois estivaux, ce qui permet de recourir dans une moindre mesure à l'électricité.

Un second système d'accumulateur de glace plus volumineux sera mis en service à la fin de l'année 2016 dans une nouvelle construction de trois étages à usage commercial et dans

sept logements (surface de référence énergétique de 2050 m²) : la pompe à chaleur (50 kW) utilise des collecteurs solaires non vitrés de 120 m² en tant que source de chaleur ou l'accumulateur de glace d'un volume de 200 m³. La EWJR pourra ainsi acquérir de l'expérience avec un bâtiment qui a en permanence besoin d'eau de chauffage et d'eau chaude. « De tels systèmes sont intéressants pour une ville comme Rapperswil-Jona », souligne le directeur Gossweiler. Dans les zones fortement construites, la pose de sondes géothermiques touche toutefois à ses limites. À Rapperswil-Jona, aucune sonde géothermique n'a pu être posée sur un tiers du territoire communal en tenant compte de l'eau souterraine.

#### Simulation pour la conception de systèmes de chauffage

L'utilisation d'accumulateurs de glace n'est pas tout à fait nouvelle. De telles installations sont déjà utilisées depuis longtemps dans des locaux frigorifiques industrielles pour la production de froid au tarif de nuit.

L'accumulateur de glace n'est utilisé que depuis quelques années en tant que composant de systèmes de chauffage. Deux accumulateurs de glace de 30 m<sup>3</sup> de la société Fafco SA (Bienne) ont été installés dans deux immeubles d'habitation à deux étages à Genève en 2014. Des sociétés de chauffage comme Viessmann-Isocal perçoivent un marché favorable pour les systèmes de chauffage composés d'une pompe à chaleur, de collecteurs solaires et d'un accumulateur de glace. Toutefois, l'optimisation de cette technologie récente et, en comparaison, coûteuse nécessite encore des travaux de recherche.

De ce point de vue, l'Institut pour la technique solaire (SPF) de l'École Technique Supérieure de Rapperswil apporte une importante contribution. Au cours d'un projet terminé depuis peu ('High Ice'), les chercheurs ont conçu un environnement de simulation qui représente l'interaction des composants du système, à savoir la pompe à chaleur, les collecteurs solaires et l'accumulateur de glace afin de les optimiser. La simulation a été conçue sur la base de trois maisons individuelles témoins (fictives) : des constructions existantes avec des besoins calorifiques de 59 kWh/m<sup>2</sup>a, 124 kWh/m<sup>2</sup>a et 128 kWh/m<sup>2</sup>a. L'algorithme élaboré a permis aux planificateurs de déterminer le dimensionnement nécessaire des composants pour un bien foncier particulier afin de passer l'hiver sans chauffage supplémentaire (par ex. chauffage électrique ou au gaz). Le projet a été réalisé sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie.

### **Beaucoup de chaleur pour peu de courant**

Les calculs dans le cadre du projet 'High Ice' confirment : les systèmes de chauffage à pompe à chaleur avec collecteurs solaires et accumulateur de glace permettent des rendements de 6 fois supérieurs à la quantité d'électricité utilisée. Ce faisant, ledit coefficient de performance annuel du système qui établit le rapport entre la quantité totale de chaleur fournie (chauffage, eau chaude) et la somme du courant utilisé (pour la pompe

à chaleur mais également pour les pompes de recirculation des collecteurs et du circuit de chauffage ainsi que pour la technique de régulation) sert d'indicateur de mesure. Pour comparer : selon les indications des chercheurs de Rapperswil, le coefficient de performance d'une pompe air-eau moyenne est de 2,8 et celui d'un système de chauffage à sondes géothermiques courant de 3,7.

Dans leurs calculs, les scientifiques du SPF montrent que le système de chauffage représenté enregistre un bon bilan écologique en tenant compte de l'énergie grise mais uniquement avec un accumulateur de glace d'un certain volume ou des collecteurs suffisamment grands. L'étude économique montre finalement qu'avec des coûts d'investissement de 30 ct/kWh pour la chaleur, le système de chauffage est relativement cher. « Aujourd'hui, les pompes à chaleur avec collecteurs solaires et accumulateur de glace sont encore plus chères que les systèmes à sondes géothermiques mais nous apercevons des possibilités d'égaliser les coûts à moyen terme », affirment les chercheurs du SPF et le chef du projet 'High Ice' Daniel Philippen. L'utilisation de collecteurs non vitrés permettrait une meilleure exploitation de la chaleur et la construction d'accumulateurs de glace plus compacts et ainsi plus économiques.

### **Réduction des coûts par la normalisation**

Les coûts intéressent également les utilisateurs de la technologie des accumulateurs de glace. Pour le système de chauffage innovant que la EWJR mettra en service à la fin de l'année 2016 dans une nouvelle construction de Rapperswil, Ernst Gossweiler estime les coûts d'investissement à environ 420 000 Fr., c'est-à-dire le double de ce qu'un chauffage à sondes géothermiques coûterait. Les coûts supplémentaires sont également dus au fait que les participants sortent des sentiers battus. Toutefois, de tels obstacles ne découragent pas les promoteurs de la technologie des accumulateurs de glace. « La normalisation permettra une nette réduction des coûts

## 5 La chaleur de la glace

à l'avenir », affirme Gossweiler. En effet, il développe déjà des idées visant à adapter la technologie pour l'application dans des maisons individuelles.

- » Vous trouverez le rapport final du projet 'High-Ice – System development for high solar thermal gains with ice storage and heat pump' sur : [www.spf.ch/HighIce](http://www.spf.ch/HighIce)
- » Jean-Christophe Hadorn ([jchadorn@baseconsultants.ch](mailto:jchadorn@baseconsultants.ch)), directeur du programme de recherche sur la chaleur solaire et l'accumulation de chaleur de l'OFEN, communique des informations supplémentaires.

- » Vous trouverez d'autres articles spécialisés concernant les projets phares et de recherche, les projets pilotes et les démonstrations dans le domaine de la chaleur solaire et des accumulateurs thermiques sur [www.bfe.admin.ch/ct/solar](http://www.bfe.admin.ch/ct/solar)

- » Étude technologique « Installations accumulateur de glace-pompes à chaleur avec collecteurs solaires » sur mandat d'EnergieSchweiz sur : [http://www.energieschweiz.ch/\\_ws/publicationDetails.aspx?id=p7589&lang=de-ch](http://www.energieschweiz.ch/_ws/publicationDetails.aspx?id=p7589&lang=de-ch)

### Comment la glace accumule de la chaleur

Les accumulateurs de glace tirent profit du phénomène physique qui a lieu lors de la transformation de l'eau en glace ou de glace en eau et qui implique des quantités de chaleur relativement grandes. Un accumulateur de glace d'un volume de 75 m<sup>3</sup> comme celui utilisé dans une école maternelle de Rapperswil-Jona peut rendre une chaleur de cristallisation, c'est-à-dire grâce au processus de givrage donc la transformation d'une eau à 0° en glace à 0°, de 5'200 kWh si l'on considère que 75 % de l'eau de l'accumulateur peut geler. Cette quantité de chaleur correspond aux besoins en chauffage de l'école maternelle pendant un mois hivernal. La comparaison indique que l'accumulateur de glace dispose d'un grand réservoir de chaleur que la pompe à chaleur peut utiliser pendant les périodes d'inactivité des collecteurs solaires en tant que source de chaleur en raison des conditions météorologiques.

Lorsque les collecteurs solaires fournissent plus de chaleur que celle dont l'école maternelle a besoin, cette énergie peut être utilisée pour la fonte de la glace de l'accumulateur. Si l'eau de l'accumulateur de glace subit un réchauffement supplémentaire, typiquement jusqu'à 55 °C dans l'installation pilote, un volume considérable de chaleur supplémentaire peut y être collecté. D'autre part, l'accumulateur de glace est influencé par la terre qui l'entoure de telle sorte qu'une partie des pertes thermiques lors du passage de l'été à l'hiver recircule et est utilisée pour la fonte de la glace et pour le chauffage du bâtiment. Le projet de recherche de Rapperswil s'est concentré sur les pompes à chaleur eau glycolée/eau ; en principe, les systèmes d'accumulation de glace sont également réalisables avec des pompes à chaleur air/eau. BV

### Dégivrage mécanique des échangeurs thermiques

De l'eau du robinet normale est utilisée dans les accumulateurs de glace ; pour le transport de la chaleur entre les collecteurs solaires, l'accumulateur de glace et la pompe à chaleur en revanche, on utilise de l'eau glycolée (antigel composé d'eau et de glycol). L'échange énergétique dans l'accumulateur de glace est effectué à l'aide d'échangeurs thermiques immergés dans l'eau de l'accumulateur de glace dans lesquels circule l'eau glycolée. Si la

température de l'eau glycolée est inférieure à 0°, une couche de glace se forme à la surface des échangeurs thermiques. Cet effet est souhaité dans la mesure où il permet de retirer la chaleur latente (chaleur de fonte) de l'eau de l'accumulateur. Si la glace sur les échangeurs thermiques est trop épaisse, la température pour la pompe à chaleur baisse trop brutalement. Cet effet doit être évité pour ne pas altérer l'efficacité de la pompe à chaleur. Dans l'accumulateur de glace conçu par le SPF pour la centrale électrique Jona-Rapperswil AG, la glace est périodiquement retirée pour cette raison. Pour cela, l'eau glycolée chaude des collecteurs solaires est reconduite à travers les échangeurs thermiques. Ce réchauffement détache les couches de glace qui remontent dans l'eau de l'accumulateur.

Dans le cadre du projet 'High Ice', les chercheurs du SPF ont testé une nouvelle possibilité de dégivrage des échangeurs thermiques : ils ont conçu un échangeur thermique en caoutchouc EPDM que l'augmentation de la pression interne déforme. Cette déformation permet de retirer mécaniquement la couche de glace de la surface. Les chercheurs ont ainsi pu démontrer qu'un dégivrage mécanique de l'échangeur thermique fonctionne également lorsque la pompe à chaleur est en cours d'exploitation. Toutefois, les chercheurs ont constaté que le caoutchouc EPDM extrudé n'est pas optimal à cette fin dans la mesure où il présente une surface rugueuse après le processus de production ce qui implique un traitement ultérieur laborieux.

Un développement supplémentaire serait donc nécessaire pour obtenir un produit commercialisable. Avec l'application d'échangeurs thermiques en plastique, les chercheurs espèrent pouvoir concevoir des accumulateurs de glace plus simples et économiques. Une autre approche consiste à appliquer des réservoirs standard préfabriqués, par exemple de grands réservoirs cylindriques applicables comme accumulateur de glace souterrain. Les essais en laboratoire du SPF ont déjà montré que les échangeurs thermiques dégivrables permettent très bien l'application de telles formes de réservoirs.



Dans un projet consécutif ('IceEx'), les chercheurs du SPF souhaitent intensifier leurs études sur les échangeurs thermiques. Leur stabilité mécanique, leur performance et leur potentiel de réduction des coûts, entre autres, doivent encore être étudiés. BV

### Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH- 3063 Ittigen, Adresse postale: CH-3003 Berne

Téléphone +41 (0)58 462 56 11, Fax +41 (0)58 463 25 00

cleantech@bfe.admin.ch, www.bfe.admin.ch