

# DE LA CHALEUR POUR LES QUARTIERS URBAINS

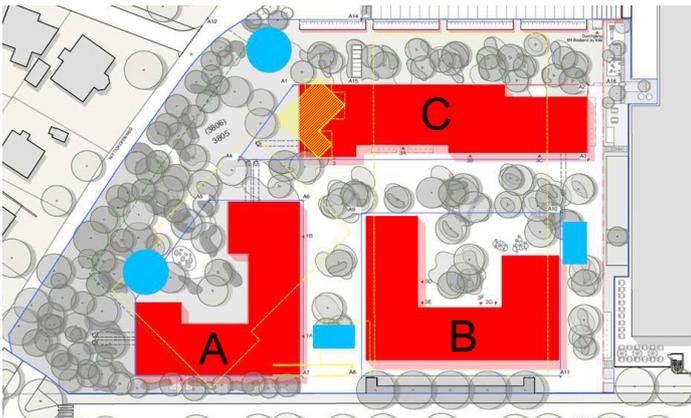
Il est aujourd'hui facile de produire du chauffage et de l'eau chaude à partir d'énergies renouvelables, par exemple avec des pompes à chaleur qui utilisent la chaleur du sol ou de l'air ambiant, mais également avec des réseaux de chauffage urbain ou des chauffages au bois. Cependant, dans les villes, ces systèmes énergétiques ne sont souvent pas disponibles, ne sont pas autorisés ou les émissions qui y sont associées sont indésirables. Dans ce cas, un système de chauffage qui utilise la chaleur des capteurs solaires et des eaux usées et la stocke temporairement dans un réservoir de glace peut aider. Cette approche innovante permet un approvisionnement énergétique fiable et économique des immeubles collectifs, même dans les quartiers urbains à forte densité de population, comme le montre un projet de la ville de Berne.



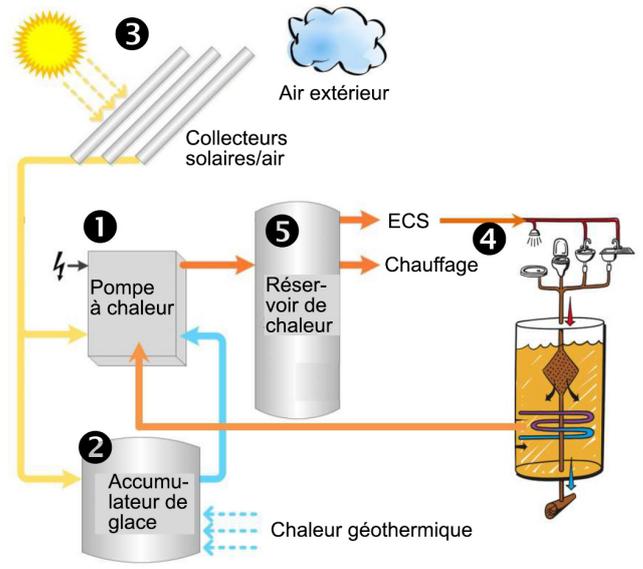
Dans la mesure où l'espace dans le sol était limitée, le bâtiment B du lotissement Weltpostpark de Berne a été équipé non pas d'un grand, mais de deux petits accumulateurs de glace. L'un d'entre eux se trouve dans le sol sous l'espace vert derrière les six poubelles. Photo: B. Vogel

L'organisation faîtière des entreprises postales mondiales, l'Union postale universelle, a son siège à l'est de Berne. Dans le voisinage direct, le lotissement « Weltpostpark » a été construit ces dernières années avec trois immeubles résidentiels. Ils ont été occupés à partir de 2020. À la demande du maître d'ouvrage, les 170 appartements répondent au standard d'efficacité énergétique « Minergie eco », et le lotissement a été réalisé en tant que « Site 2000 watts ». Ce label réunit des exigences élevées en matière de durabilité des bâtiments d'habitation et de mobilité de leurs occupants.

Atteindre ce niveau élevé de durabilité a représenté un défi de taille pour les planificateurs énergétiques. En effet, différents systèmes énergétiques courants n'entraient pas en ligne de compte pour ce lotissement situé à l'est de la ville de Berne: la nappe phréatique n'était pas suffisante pour produire de la chaleur à l'aide de pompes à chaleur; en même temps, la présence de nappes phréatiques rendait impossible la pose de sondes géothermiques. De son côté, l'utilisation de l'air extérieur comme source d'énergie pour les pompes à chaleur aurait entraîné une consommation d'électricité trop élevée, associée au risque d'oppositions en raison des émissions sonores prévisibles. Le chauffage au bois a également été écarté car il aurait eu un impact sur l'air plus important que celui autorisé par le plan directeur de l'énergie. Enfin, le chauffage urbain ne sera pas disponible dans le quartier dans un avenir proche.



Le lotissement Weltpostpark à l'est de la ville de Berne avec trois immeubles résidentiels. La chaleur des capteurs solaires sert à régénérer les accumulateurs de glace (en bleu) ou peut être utilisée directement par les pompes à chaleur. Les bâtiments A et C disposent chacun d'un accumulateur de glace cylindrique (dessiné en rond), tandis que pour le bâtiment B, deux petits accumulateurs de glace cubiques (dessinés en rectangle) ont été réalisés pour des raisons de construction. Illustration: Rapport final de l'OFEN



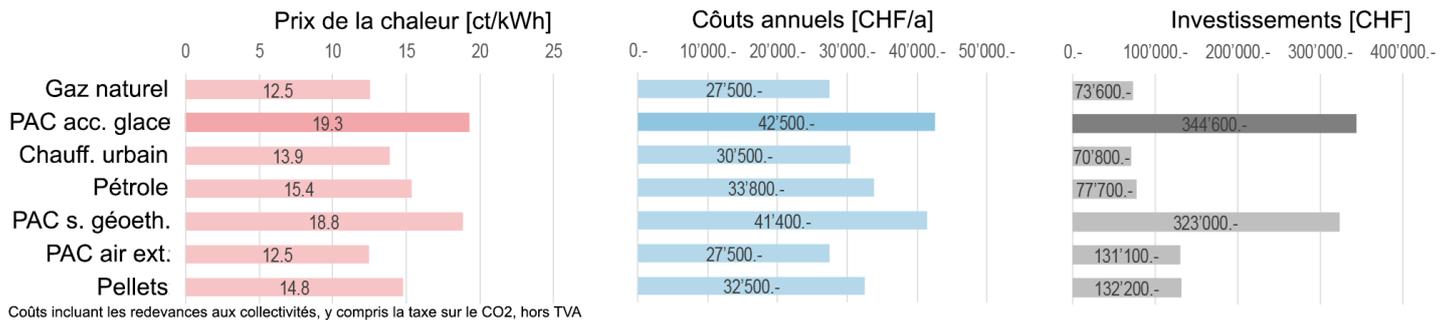
Chaque immeuble collectif du lotissement Weltpostpark tire sa chaleur pour le chauffage et l'eau chaude de pompes à chaleur qui utilisent trois sources de chaleur: les capteurs solaires non vitrés sur le toit de la maison, un accumulateur de glace et les eaux usées de la maison collectées dans un réservoir. La chaleur du réservoir d'eaux usées est prélevée par un échangeur de chaleur, d'où elle est acheminée vers les pompes à chaleur. Illustration: Weisskopf et partenaires

### Les accumulateurs de glace absorbent la chaleur

Beat Nussbaumer, qui s'est occupé du projet pour l'entreprise de planification eicher+pauli, a dû trouver une autre solution: « Pour atteindre la norme du site 2000 watts, nous avons étudié plusieurs systèmes, dont des pompes à chaleur air-eau associées à des chaudières à gaz ou à pellets pour couvrir les pics de consommation. Seul le système de pompes à chaleur utilisant des capteurs solaires et les eaux usées comme sources de chaleur a permis d'atteindre l'objectif », se souvient Nussbaumer. Un accumulateur de glace est utilisé pour stocker la chaleur. « L'utilisation de la chaleur solaire et des eaux usées, combinée à un accumulateur de glace, donne un système énergétique qui fournit avec fiabilité du chauffage et de l'eau chaude aux maisons d'une zone urbaine densément construite pendant toutes les saisons », explique Nussbaumer. Comme les pompes à chaleur fonctionnent avec de l'électricité hydraulique certifiée, l'approvisionnement en chaleur est 100% renouvelable.

### Fiable et rentable

L'entreprise eicher+pauli n'a pas seulement planifié le système énergétique, mais l'a soumis à un monitoring et à une optimisation de l'exploitation au cours des deux dernières



Comparaison des coûts de différents systèmes énergétiques. Le système de chauffage basé sur un accumulateur de glace est comparable à un système de chauffage avec des sondes géothermiques en termes d'investissement, de coûts annuels (coûts d'investissement annualisés + coûts d'énergie et d'entretien) et de prix de la chaleur. Les investissements sont basés sur l'exécution du parc postal mondial, les coûts énergétiques sont basés sur les tarifs en vigueur dans la ville de Berne et le calcul des coûts annuels a été effectué selon la norme SIA. Graphique: Rapport final de l'OFEN

années dans le cadre d'un projet pilote et de démonstration financé par l'OFEN. Cette analyse a confirmé la fiabilité et la rentabilité du système. « La comparaison montre que la technologie de l'accumulateur de glace nécessite des investissements légèrement plus élevés que l'installation comparable d'une pompe à chaleur à sonde géothermique, mais qu'elle peut être exploitée de manière presque aussi rentable grâce à sa grande efficacité », constate le rapport final du projet (voir également le graphique en haut). Le coefficient de performance annuel (COP) est d'environ 4,5 et atteint ainsi à peu près l'efficacité des pompes à chaleur saumure-eau.

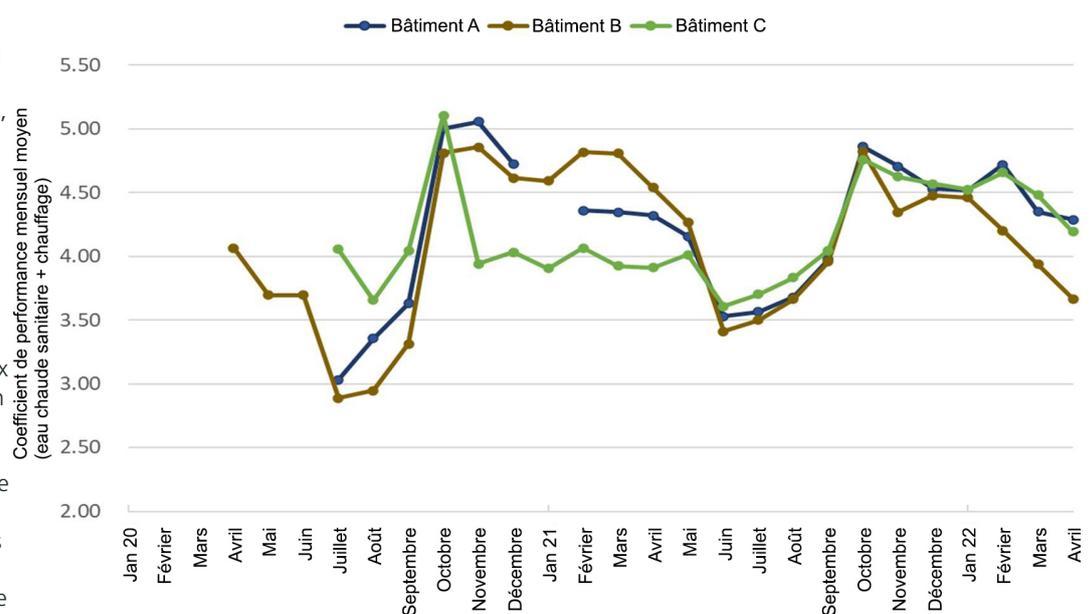
Le système énergétique du lotissement Weltpostpark ne dispose d'aucune redondance car, en cas de givrage complet,

aucune énergie supplémentaire ne peut être prélevée sur le réservoir. De tels systèmes doivent donc être conçus avec le plus grand soin. Lors de la planification, une attention particulière doit être accordée au comportement des utilisateurs (« Performance Gap »). En raison de ce dernier, le prélèvement de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude peut varier massivement et entraîner parfois des besoins en chaleur nettement plus élevés que ceux prévus dans le projet. Un autre défi: si la neige recouvre durablement les capteurs, l'accumulateur de glace ne peut temporairement pas être régénéré par la chaleur solaire.

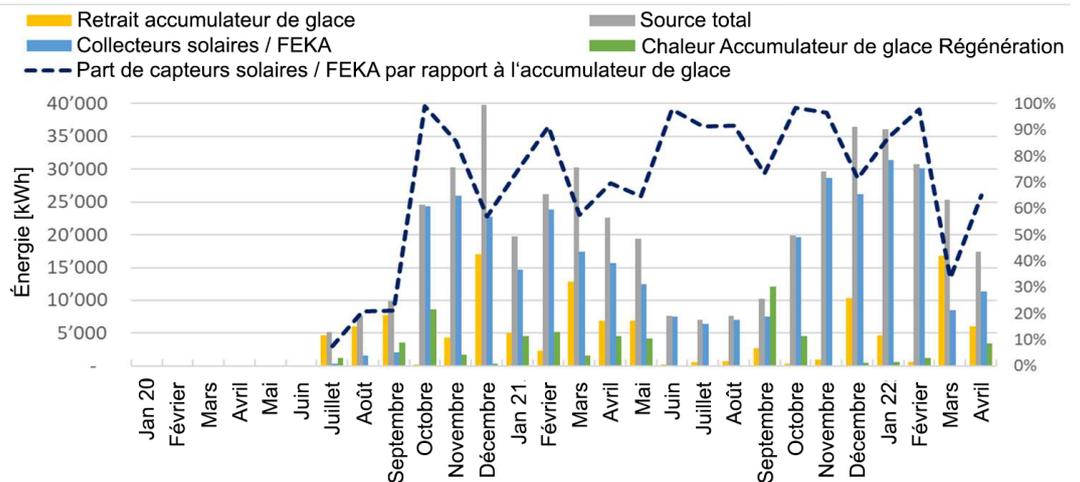
### La menace d'une pénurie

Afin d'éviter un sous-dimensionnement du système de chauffage

Coefficient de performance annuel (COP) des trois pompes à chaleur du lotissement Weltpostpark: au cours de la première période de chauffage, l'efficacité des pompes à chaleur était encore affectée par diverses influences. Au cours de la deuxième période de chauffage étudiée, les trois pompes à chaleur ont ensuite fonctionné de manière stable, et ce avec un COP moyen de 4,5. La valeur est un peu plus basse pour le bâtiment B: ici, seul un tiers des eaux usées est disponible pour l'utilisation de la chaleur. L'accumulateur de glace est ainsi plus fortement sollicité, ce qui entraîne une température de source plus basse et, par conséquent, un COP nettement plus faible. L'effet défavorable se manifeste principalement dans la seconde moitié de la période de chauffage. Graphique: Rapport final de l'OFEN



Flux de chaleur dans le bâtiment A du lotissement Weltpostpark: la plupart des mois, de 60 à 100% de la chaleur provenant des capteurs solaires et des eaux usées sont déposés dans l'accumulateur de glace avant d'être convertis ultérieurement en chaleur de chauffage et en eau chaude par la pompe à chaleur. Graphique: Rapport final de l'OFEN



fage, les planificateurs énergétiques ont effectué une simulation dynamique (Polysun). Elle a montré qu'un système énergétique composé de capteurs solaires et d'un accumulateur de glace ne permettrait pas d'assurer avec fiabilité les besoins en chaleur des trois bâtiments d'habitation. C'est pourquoi les concepteurs ont opté pour une approche innovante: ils ont complété le système énergétique par un système de récupération de la chaleur des eaux usées. Ils voulaient ainsi s'assurer qu'un éventuel écart de performance serait absorbé et qu'une exploitation durable serait possible. En outre, ils souhaitaient acquérir de l'expérience avec cette interaction entre les composants de chauffage, jusqu'ici peu connue en

Suisse. En principe, le champ de capteurs et l'accumulateur de glace auraient également pu être agrandis pour augmenter les performances. Mais cela aurait été plus coûteux que l'utilisation de la chaleur des eaux usées, souligne Beat Nussbaumer.

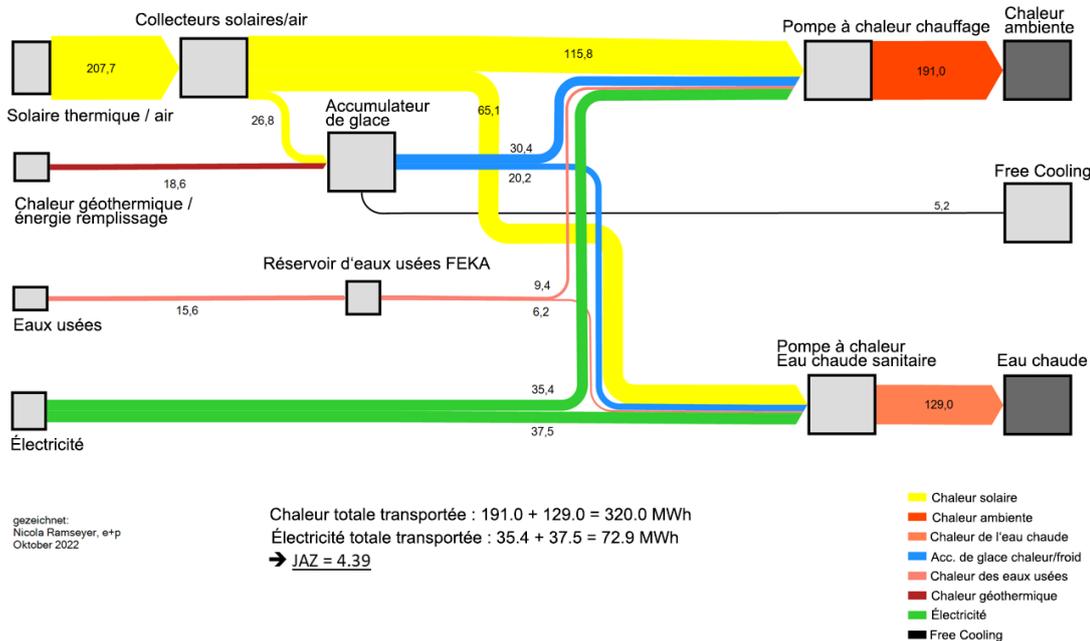
Le recours à la simulation a été nécessaire pour les planificateurs énergétiques car le fournisseur du système de chauffage n'avait pas divulgué la conception du système. Dans ce contexte, les auteurs du rapport final demandent une amélioration des aides à la planification: «En lançant et en promouvant des outils de planification et de simulation neutres,

## ÉGALEMENT ADAPTÉ POUR LES CONSTRUCTIONS EXISTANTES

Le système énergétique comprenant des capteurs solaires, l'utilisation de la chaleur résiduelle et un accumulateur de glace est utilisé dans le lotissement Weltpostpark à Berne, dans des bâtiments neufs dotés d'une excellente isolation thermique et d'un chauffage au sol. Selon Beat Nussbaumer (eicher+pauli Bern AG), le système de chauffage convient en principe aussi aux bâtiments anciens bien rénovés. Dans le cadre d'une évaluation dans toute la Suisse, Nussbaumer a identifié 13 500 immeubles résidentiels en milieu urbain présentant des conditions d'approvisionnement en énergie aussi difficiles que celles du site Weltpostpark à Berne. Pour tous ces bâtiments, un système énergétique basé sur l'accumulation de glace est une option qui mérite d'être étudiée et qui pourrait, dans de nombreux cas, remplacer l'approvisionnement en énergie, lequel est encore essentiellement fossile.

Les conditions préalables à l'installation de ce système de chauffage sont une bonne isolation thermique et un besoin en chaleur d'environ 60 kWh/m<sup>2</sup>a maximum pour le chauffage des locaux et pour l'eau chaude. Pour comparer: dans les nouveaux bâtiments du lotissement de Berne, les besoins en chaleur sont d'environ 50 kWh/m<sup>2</sup>a (28,6 à 31,2 kWh/m<sup>2</sup>a pour le chauffage des locaux et 18,7 à 20,5 kWh/m<sup>2</sup>a pour l'eau chaude). La température dans le circuit de départ du chauffage devrait être de 40 °C, ce qui est possible non seulement avec des chauffages au sol, mais également avec des radiateurs ou des convecteurs si la surface est suffisante. La condition préalable à l'installation d'un tel système de chauffage est de disposer de l'espace nécessaire pour l'accumulateur de glace et le réservoir qui peut recevoir les eaux usées de l'immeuble collectif avant qu'elles ne s'écoulent dans les égouts. Pour ce faire, il est souvent possible d'utiliser des espaces de citernes de pétrole désaffectés ou des aires de stationnement libérées.

### Flux énergétique bâtiment A, mai 2021 – avril 2022 en MWh



Le diagramme des flux énergétiques du bâtiment A du lotissement Weltpostpark. Seulement 15% du rayonnement solaire environ sert à régénérer l'accumulateur de glace, la majeure partie du rayonnement solaire a été utilisée directement. Une estimation a en outre révélé que pas moins de 8% de l'apport d'énergie dans l'accumulateur de glace provenait du sol environnant. Graphique: eicher+pauli

la phase 2 du projet SIA doit permettre une conception plus rapide des systèmes. Dans la mesure du possible, l'application doit être intégrée dans des programmes de simulation établis».

#### La chaleur issue des eaux usées est indispensable

La décision d'intégrer la chaleur des eaux usées s'est avérée judicieuse dans le bâtiment B du lotissement: pour des raisons de construction, seul un tiers des eaux usées peut y être utilisé pour fournir de la chaleur. Les conséquences: les besoins en chaleur de la maison n'ont pas pu être entièrement

couverts pendant la saison froide, de sorte qu'une centrale de chauffage mobile fonctionnant au fioul a été utilisée temporairement et qu'une pompe à chaleur air-eau a été ajoutée ultérieurement.

Pour éviter de telles corrections, il est indispensable que les composants soient conçus de manière transparente et compréhensible. Selon l'équipe de projet, il serait souhaitable que des fournisseurs de systèmes mettent à disposition tous les composants, y compris la garantie du système, le système de gestion intelligent et le savoir-faire en matière d'exploitation.



Capteurs solaires du lotissement Weltpostpark pendant le montage. Photo: eicher+pauli

Les paramètres de conception ainsi que le dimensionnement devraient être publiés de manière compréhensible. Cette transparence serait une condition importante pour encourager la diffusion des systèmes de chauffage avec accumulateur de glace.

### Freecooling en été

Un système de gestion intelligent est également nécessaire pour pouvoir utiliser l'installation de manière optimale pendant les mois estivaux. En effet, à cette période de l'année, l'installation fonctionne en mode freecooling, c'est-à-dire que les tubes du chauffage au sol sont parcourus par de l'eau froide provenant de l'accumulateur de glace et évacuent ainsi la chaleur estivale des pièces d'habitation. Pour que l'énergie de refroidissement nécessaire soit disponible dans l'accumulateur de glace, une réserve de glace a été constituée de manière ciblée à partir du mois de mars, pendant la phase de suivi de deux ans, par prélèvement de chaleur. Après l'évaluation du monitoring, les experts en énergie concluent que la constitution de la réserve de glace devrait avoir lieu un mois plus tard - c'est-à-dire en avril au lieu de mars - afin de disposer d'une meilleure réserve de chaleur.

Le projet P+D autour du lotissement Weltpostpark à Berne donne des indications importantes sur l'utilisation de ce système énergétique dans des zones urbaines densément construites. Pour le transfert de connaissances, le chef de projet Beat Nussbaumer propose d'élaborer des principes de planification/d'interprétation. Les connaissances pourraient par exemple être diffusées sous la forme d'un guide et dans le cadre de cours avec la participation des fournisseurs de systèmes. « De cette manière, l'utilisation de capteurs solaires en combinaison avec l'utilisation de la chaleur des eaux usées et l'accumulation de glace pourrait être aidée à se répandre davantage », souligne Nussbaumer.

- Le **rapport final** du projet de l'OFEN «Approvisionnement fiable en chaleur renouvelable dans un lotissement résidentiel à haute densité en l'absence de sources d'énergie renouvelables» est disponible sur: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40988>
- Le Dr Men Wirz ([men.wirz\[at\]bfe.admin.ch](mailto:men.wirz[at]bfe.admin.ch)), coresponsable du programme P+D de l'OFEN, communique des informations sur le projet.



Sous l'espace vert se trouvent le garage et un des accumulateurs de glace. Ce dernier se compose d'un bac en béton cylindrique d'un diamètre de 11,4 m. La hauteur de remplissage s'élève à 4,1 m. Photo: B. Vogel

- Vous trouverez plus d'**articles spécialisés** concernant les projets pilotes, de démonstration et les projets phares dans le domaine des réseaux sur [www.bfe.admin.ch/ec-chaleur](http://www.bfe.admin.ch/ec-chaleur)

## PROJETS P+D DE L'OFEN

Le projet présenté dans le texte principal a été soutenu 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](http://www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration)