

DANS CE CAS, LE CO₂ FAIT PARTIE DE LA SOLUTION

Les pompes à chaleur sont aujourd'hui la solution standard pour une production de chaleur efficace sur le plan énergétique dans les bâtiments d'habitation. Dans des formats plus grands, elles sont également de plus en plus utilisées dans les secteurs de l'industrie et des services. Le centre commercial Surseepark dans le canton de Lucerne a été mis en œuvre comme projet de démonstration réussi de l'OFEN. L'installation utilise le dioxyde de carbone (CO₂), un réfrigérant naturel, pour la production de chaleur et de froid. Il est sûr, efficace et son impact sur l'environnement est nettement meilleur que celui des alternatives courantes.



Le centre commercial Migros Surseepark. Sur la structure du toit à droite, on reconnaît les évaporateurs de la pompe à chaleur ou les refroidisseurs de gaz des deux pompes à chaleur CO₂, qui absorbent la chaleur de l'air ambiant (mode chauffage) ou la rejettent à l'extérieur (mode climatisation). En raison du faible niveau de bruit, les appareils peuvent également être utilisés dans les zones résidentielles. Pour des raisons esthétiques, ils sont dotés d'une protection visuelle. Photo: Coopérative Migros Lucerne

Les pompes à chaleur extraient la chaleur ambiante de l'environnement pour la délivrer ainsi en chaleur de chauffage et en eau chaude. Pour réaliser ce transfert thermique, chaque pompe à chaleur a besoin d'un fluide frigorigène aux propriétés physiques adaptées. Le terme « fluide frigorigène » vient du fait que ces substances étaient à l'origine utilisées dans les machines frigorifiques. Le même processus que dans les pompes à chaleur s'y déroule, mais il sert à produire du froid.

Tendance aux fluides frigorigènes naturels

Depuis l'invention de la pompe à chaleur au 19^e siècle, les fluides frigorigènes les plus divers ont été utilisés. Les chlorofluorocarbones (CFC) étaient courants jusque dans les années 1990, mais ils ont été retirés de la circulation en raison de leur effet néfaste sur la couche d'ozone. Ils ont été remplacés par des réfrigérants synthétiques à base d'hydrofluorocarbones (HFC), par exemple par le R-410A et le R-407C pour les petites pompes à chaleur des maisons individuelles, ou le R-134a pour les installations plus volumineuses. Depuis l'émergence du débat sur le climat, les fluides frigorigènes synthétiques font l'objet de critiques car, en cas de fuite, ils accentuent l'effet de serre ou polluent les eaux avec du trifluoroacétate (TFE). C'est la raison pour laquelle on a de plus en plus recours à des réfrigérants naturels tels que l'ammoniac, le propane et le CO₂. Ces derniers ont un impact moins important sur le changement climatique. En comparaison, pour nuire au climat dans la même mesure qu'un kg de R134a, il faudrait que 1 430 kg de CO₂ soient rejetés.

« Le fluide frigorigène CO₂ est sûr et permet un fonctionnement énergétiquement efficace de la pompe à chaleur avec peu d'entretien, c'est pourquoi il suscite un intérêt croissant chez les clients soucieux de la durabilité », explique Marcel Bärtsch, responsable technique du bureau d'ingénieurs Frigo-Consulting AG (Dietikon/ZH). Le CO₂ est particulièrement adapté lorsque le fluide frigorigène doit surmonter un écart de température important entre la température de retour et la température de départ, comme c'est généralement le cas dans les bâtiments à forte consommation d'eau chaude ou dans les bâtiments existants. Jusqu'à présent, le CO₂ n'est pas utilisé comme réfrigérant dans les petites pompes à chaleur dans la mesure où les composants techniques ne sont pas disponibles. Le propane est ici l'alternative naturelle favorisée.

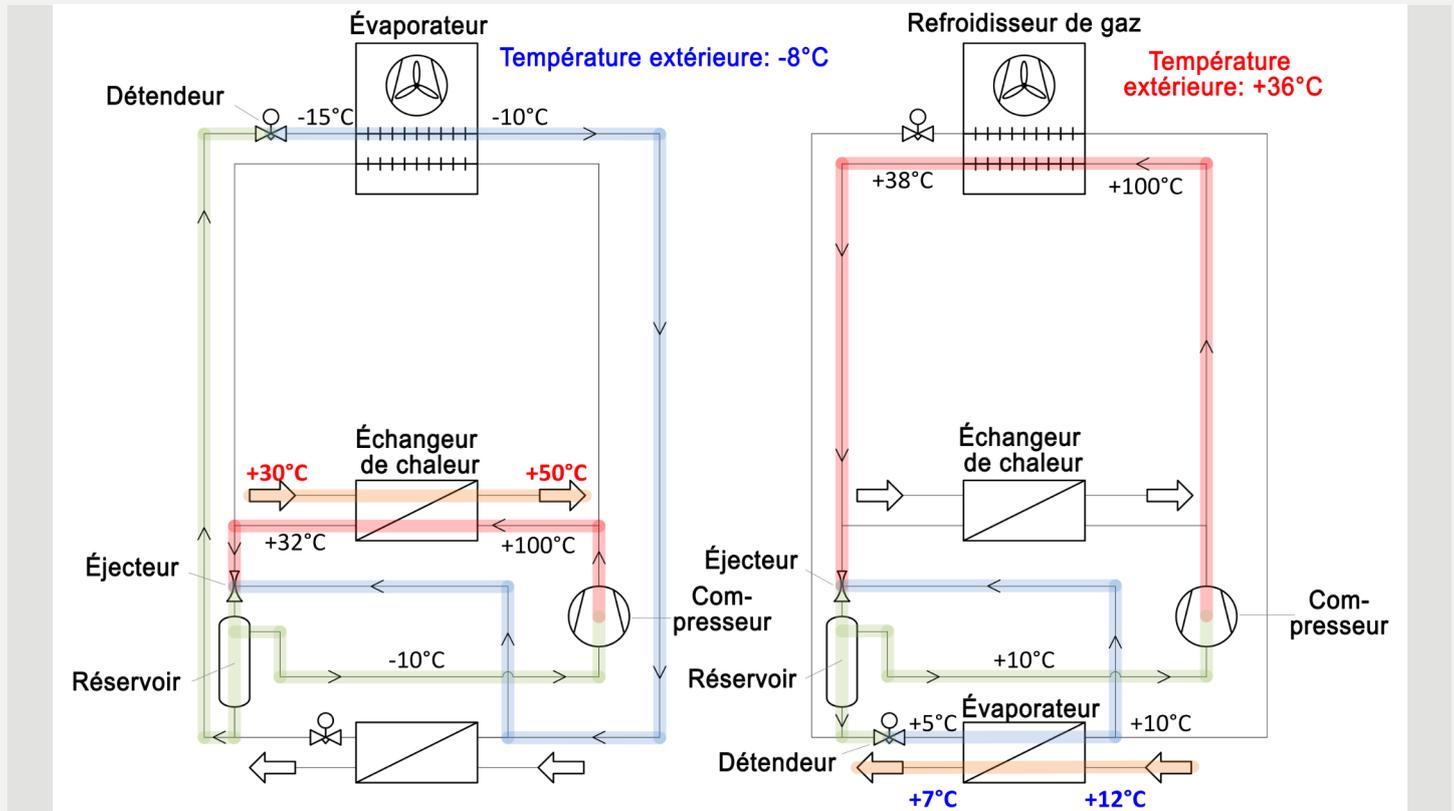
« La solution la plus écologique »

L'un des premiers grands projets ayant recours au réfrigérant CO₂ dans une pompe à chaleur réversible pour le chauffage et la climatisation d'un grand bâtiment a été réalisé en 2019 à Sursee. La coopérative Migros Lucerne y exploite le centre commercial Surseepark. Deux bâtiments (Surseepark I, Surseepark II) d'une surface de vente totale d'environ 33 000 m² abritent un supermarché MMM, des marchés spécialisés Migros et d'autres commerces alimentaires et non alimentaires. En 2018, Migros a évalué un nouveau système de chauffage et de refroidissement pour le centre commercial afin de remplacer les installations de chauffage et de climatisation au fioul existantes. « Nous avons opté pour des pompes à cha-



Vue sur l'une des deux pompes à chaleur CO₂ réversibles du Surseepark. L'installation a une puissance de chauffage de 550 kW et une puissance de climatisation de 630 kW. Photo: Coopérative Migros Lucerne

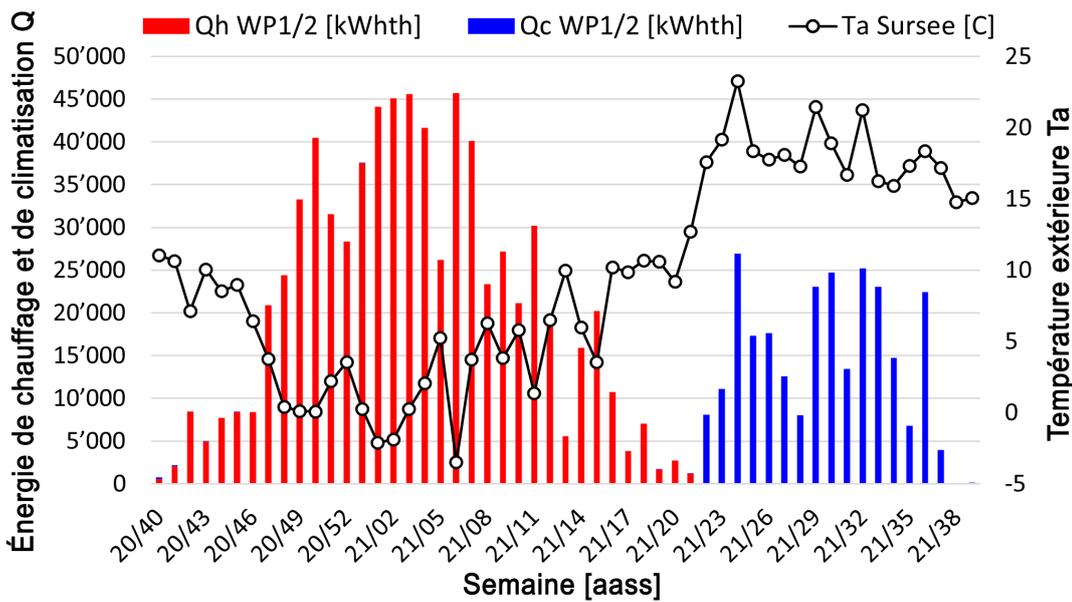
POMPE À CHALEUR AIR/EAU RÉVERSIBLE À ÉJECTEUR



Les pompes à chaleur réversibles fournissent de la chaleur de chauffage pendant les mois d'hiver et de transition, et permettent de climatiser les pièces pendant les chaudes journées d'été. La représentation à gauche montre la pompe à chaleur air/eau à titre d'exemple en mode chauffage. Le CO₂, un fluide frigorigène froid à -15°C , s'évapore dans l'évaporateur et se réchauffe ainsi à -10°C (en prélevant de la chaleur dans l'air ambiant « chaud » à -8°C). Le fluide frigorigène ainsi chauffé est aspiré dans l'éjecteur et s'écoule dans le réservoir. A ce stade, les parties gazeuses du fluide frigorigène parviennent au compresseur; en raison de la compression, la température augmente jusqu'à 100°C . Le fluide frigorigène est ensuite envoyé dans l'échangeur de chaleur. Le fluide frigorigène transmet cette chaleur au circuit de chauffage du bâtiment dans l'échangeur de chaleur (refroidisseur de gaz) (l'eau de chauffage chauffe alors à 50°C , le fluide frigorigène refroidit à 32°C). Les parties liquides du fluide frigorigène passent du réservoir à l'évaporateur, où elles absorbent à nouveau la chaleur de l'air ambiant après avoir été refroidies à -15°C dans l'éjecteur.

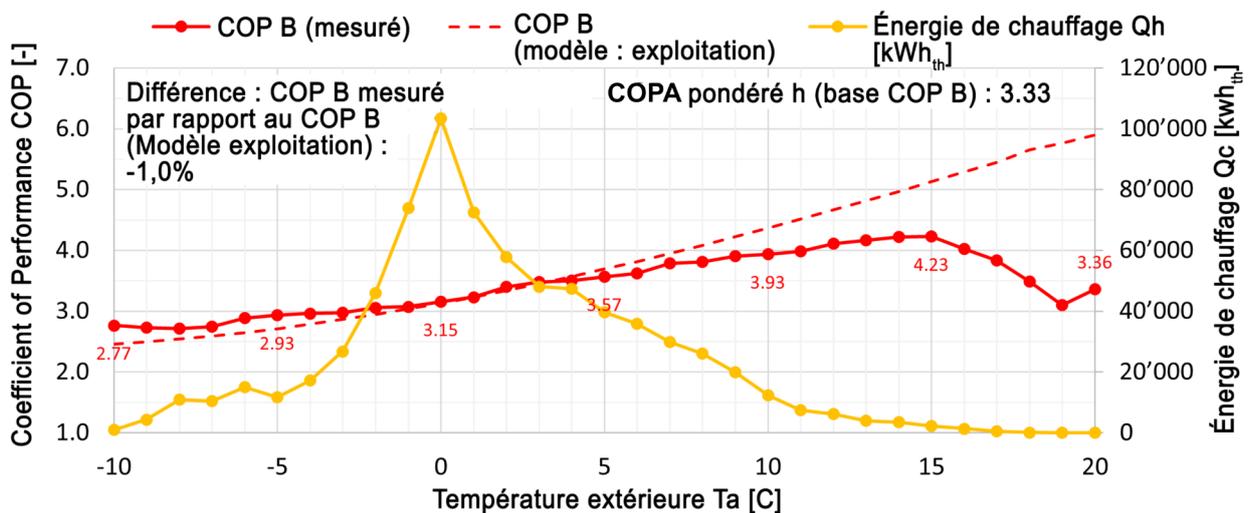
Le schéma de droite montre le fonctionnement de la climatisation: le fluide frigorigène comprimé, d'une température de 100°C , traverse le refroidisseur de gaz, cédant ainsi de la chaleur à l'air ambiant et se refroidissant jusqu'à 38°C . Le fluide frigorigène ainsi refroidi parvient à l'éjecteur, où il est détendu tout en continuant à être refroidi jusqu'à 10°C . Le réservoir contient des composants liquides et gazeux: les parties gazeuses retournent au compresseur, les parties liquides sont refroidies à 5°C par détente dans l'éjecteur. Le fluide frigorigène ainsi refroidi absorbe la chaleur du circuit de climatisation du bâtiment dans l'échangeur de chaleur (refroidissement de 12 à 7°C), ce qui permet de refroidir le bâtiment. La température du fluide frigorigène augmente alors jusqu'à 10°C . Ensuite, le fluide frigorigène est aspiré par l'éjecteur.

L'éjecteur est un composant innovant qui améliore l'efficacité des pompes à chaleur de 15% et plus. En mode chauffage comme en mode climatisation, l'éjecteur permet de pré-comprimer le fluide frigorigène et ce, sans utiliser d'énergie électrique. Le compresseur est ainsi déchargé ou sa consommation électrique réduite, ce qui se traduit par une augmentation de l'efficacité de la pompe à chaleur. BV



leur utilisant le CO₂, un réfrigérant naturel », explique Markus Rütli, responsable de la technique du bâtiment à la coopérative Migros Lucerne. « Parmi les douze concepts examinés, nous avons accepté des coûts d'investissement nettement plus élevés en faveur de ce projet pilote, afin de mettre en œuvre la solution la plus respectueuse de l'environnement. Grâce aux faibles coûts du cycle de vie sur les 15 prochaines années, une partie des investissements supplémentaires pourra être compensée ».

a décision a été prise en accord avec la stratégie climatique et énergétique de Migros. Celle-ci exige, dans le domaine du chauffage, de la ventilation et de la climatisation (CVC), l'abandon des fluides frigorigènes synthétiques - une démarche que Migros pratique déjà depuis des années pour la réfrigération des aliments (réfrigérateurs et congélateurs) (au Surseepark avec le fluide frigorigène naturel CO₂). Les deux pompes à chaleur air/eau du Surseepark I et II fonctionnent de manière réversible, elles fournissent ainsi aussi bien du chauffage et



Coefficient of Performance (COP) des deux pompes à chaleur lors de la production de chaleur en fonction de la température extérieure. Lorsque les températures extérieures sont basses, le COP mesuré (en rouge) est supérieur à la valeur de planification (en rouge pointillé). Lorsque les températures extérieures sont élevées, le COP mesuré est inférieur à la valeur de planification. Les experts attribuent le fait que la valeur planifiée ne soit pas atteinte lorsque les températures extérieures sont élevées notamment au fait que les besoins en chaleur ont été surestimés lors de la planification et que, par conséquent, les pompes à chaleur fonctionnent fortement en charge partielle lors de l'exploitation réelle. Si l'on considère la puissance de chauffage exprimée en COP sur une année complète, on obtient un coefficient de performance annuel (COPA) de 3,33. Sur une année, les pompes à chaleur fournissent donc trois fois plus d'énergie de chauffage qu'elles n'en consomment en électricité. Graphique: rapport final OFEN

de l'eau chaude (au total 2 x 550 kW de puissance de chauffage) que du froid climatique (2 x 630 kW de puissance de climatisation). Les deux pompes à chaleur sont équipées de vannes dites « éjecteur ». Elles permettent une exploitation particulièrement efficace sur le plan énergétique.

Une installation pionnière exigeante

Après sa mise en service, l'installation pionnière de Sursee a d'abord été réglée, puis soumise à une campagne de relevés détaillée de l'automne 2020 à l'automne 2021, avec le soutien financier du programme pilote et de démonstration de l'OFEN. « L'optimisation de l'exploitation a été relativement coûteuse car les systèmes CVC des deux bâtiments ont été renouvelés dans des proportions différentes et parce que l'alimentation des deux bâtiments nécessite de longues conduites et une commande complexe. Entre-temps, l'installation fonctionne sans problème et, avec un coefficient de performance annuel (COPA) de 3,33 (en mode chauffage) et de 5,32 (en mode climatisation), nous obtenons un bon résultat sur le plan énergétique », déclare Markus Rütli, responsable du projet chez Migros, avant d'ajouter: « Ce projet nous a permis d'acquérir une expérience précieuse en matière de stratégie de commande et de régulation, de comportement à charge partielle des pompes à chaleur et d'interaction entre les éjecteurs et le limiteur de débit ».

Ces expériences aident désormais l'expert en technique du bâtiment dans la réalisation d'autres projets. Ainsi, à l'automne 2020, une pompe à chaleur réversible au CO₂ a également été installée dans le centre commercial Migros Herti à Zoug. Grâce à l'expérience acquise jusqu'à présent avec l'installation du Surseepark, cette pompe à chaleur a pu être réalisée de manière plus compacte et moins coûteuse. De légères adaptations dans la conception du système et dans son fonctionnement ont permis d'augmenter de 8% le COP en mode chauffage. Pour le remplacement du chauffage au gaz du centre commercial Zugerland à Steinhausen, prévu pour 2023, Migros veut également recourir à des pompes à chaleur CO₂ réversibles; l'installation devrait encore gagner en rentabilité grâce aux expériences et aux optimisations des deux installations réalisées. Ce que les auteurs du rapport final sur le projet de pompe à chaleur de Sursee avaient prédit se dessine déjà: « Nous sommes convaincus que les pompes à chaleur air/eau réversibles CO₂ joueront à l'avenir un rôle pertinent dans le chauffage et la climatisation des grands bâtiments modernisés ou des nouvelles constructions ».

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, lesquelles 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

- Le **rapport final** du projet de l'OFEN « Pompe à chaleur réversible pour le chauffage et la climatisation efficaces de grands bâtiments modernisés » est disponible sur: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=43179>
- Les dispositions légales relatives aux **fluides frigorigènes** figurent dans l'ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques vous trouvez [ici](#).
- Pour tout **renseignement**, veuillez contacter le Dr Men Wirz (men.wirz@tbf.admin.ch), responsable du programme pilote et de démonstration de l'OFEN, et Stephan Renz (info@trenzconsulting.ch), responsable externe du programme de recherche sur les pompes à chaleur et la technique du froid de l'OFEN.
- Vous trouverez plus **d'articles spécialisés** concernant les projets pilotes, de démonstration et les projets phares dans le domaine Bâtiments et villes sur www.bfe.admin.ch/ec-pac-froid