

DU PROPANE CHAUFFE ET REFROIDIT UN BÂTIMENT

La tendance des réfrigérants destinés aux pompes à chaleur est de s'éloigner des fluorures d'hydrogène synthétiques pour se tourner vers des fluides naturels tels que l'ammoniac, le CO₂ ou le propane. Un projet de démonstration financé par l'Office fédéral de l'énergie à Oberwinterthur utilise désormais une pompe à chaleur air/eau réversible (c'est-à-dire commutable entre les modes chauffage et refroidissement) à base de propane dans un bâtiment à usage de bureau de taille moyenne. Dans le cadre d'une campagne de deux ans, la pompe à chaleur au propane a prouvé sa fonctionnalité dans un bâtiment neuf conforme à la norme Minergie-P. Le système de chauffage et de refroidissement réalisé est particulièrement adapté aux nouvelles constructions bien isolées sur des sites qui ne disposent pas de sources de chaleur (sondes géothermiques ou eau souterraine).



Le responsable du projet Stefan van Velsen (3-Plan Haustechnik AG) devant la pompe à chaleur air/eau avec ses quatre compresseurs. Ces derniers permettent une exploitation sur une plage de charge de 15 à 100%. Photo: B. Vogel

Au cours des vingt dernières années, les pompes à chaleur se sont imposées comme la technologie privilégiée pour la production de chauffage et d'eau chaude à faible teneur en CO₂ et à économie d'énergie. Un composant essentiel des pompes à chaleur est le réfrigérant qui sert à extraire la chaleur de l'environnement (air, sol) à basse pression pour la fournir au circuit de chauffage ou d'eau chaude après avoir été mise à la température souhaitée par un compresseur. Le réfrigérant est un élément clé pour le bon fonctionnement de la pompe à chaleur. Idéalement, un réfrigérant peut transporter beaucoup d'énergie thermique, n'est ni toxique ni nocif pour l'environnement– et satisfait à un certain nombre d'autres propriétés matérielles qui le rendent apte à être utilisé dans une pompe à chaleur.

Éviter les réfrigérant polluants

Les exigences imposées aux réfrigérants ont changé au fil du temps. Les réfrigérants synthétiques tels que les chlorofluorocarbones (CFC, HCFC) ont été longtemps privilégiés. Dans les années 1980, ils ont été interdits en raison de leur contribution à la destruction de la couche d'ozone puis de plus en plus souvent remplacés par des fluorocarbones (HFC). Ces réfrigérants sans chlore ont certes de très bonnes propriétés thermodynamiques pour le circuit de pompes à chaleur mais présentent un grand potentiel de gaz à effet de serre (Potential de réchauffement global/PRG). Le réfrigérant R410A souvent utilisé dans les pompes à chaleur air/eau a un PRG de 2090, ce qui n'est problématique qu'en cas de fuite. Afin de minimiser le risque lié au nombre croissant de pompes à cha-



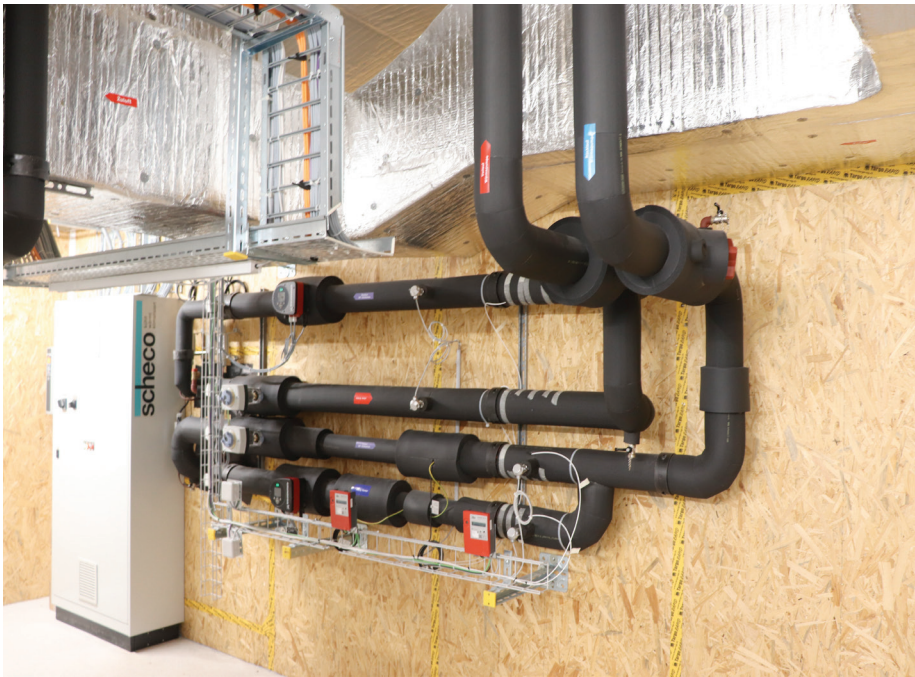
Le bâtiment à usage de bureaux de la société 3-Plan Haustechnik AG: Avec 118 m², l'installation photovoltaïque sur le toit a une surface relativement petite mais produit plus d'électricité que le bâtiment n'en a besoin pour le chauffage, le refroidissement et la ventilation. 95% de la production d'électricité sont consommés sur place. Photo: B. Vogel

leur et d'installations frigorifiques dans le monde entier, les réfrigérants à très faible PRG sont aujourd'hui très sollicités.

Les réfrigérants dits naturels tels que l'ammoniac (R-717; PRG 0), le CO₂ (R744; PRG1) ou le propane (R-290; PRG 3) sont une solution. Le CO₂, qui était déjà utilisé dans la technique du froid au milieu du 19e siècle, est aujourd'hui le premier choix dans le domaine du froid commercial. Le CO₂ peut être utilisé efficacement dans des pompes à chaleur uniquement en présence d'une différence de température relativement grande entre l'entrée et la sortie (comme c'est le cas lors de



La cafétéria a une grande proportion de fenêtres. Photo: Dominique Marc Wehrli



En haut: La pompe à chaleur air/eau (en arrière-plan) avec l'unité externe (évaporateur/condenseur selon le mode d'exploitation) sur le toit de la société 3-Plan Haustechnik AG à Oberwinterthur. Photo: B. Vogel

A gauche: La même tuyauterie avec entrée et sortie est utilisée pour le chauffage et le refroidissement. Le circuit de commutation permet de commuter entre les deux modes de fonctionnement. Photo: B. Vogel

la production d'eau chaude). Quant à l'ammoniac, il est utilisé uniquement dans les grandes installations car, même s'il est très efficace, il est très toxique et nécessite des règles de sécurité plus strictes. C'est pourquoi le propane est une alternative intéressante pour les petites et moyennes installations.

Un «très bon» coefficient de performance annuel

Le propane présente de bonnes propriétés dans les pompes à chaleur qui doivent combler une différence de température relativement faible, comme c'est le cas des systèmes de chauffage à basse température dans les bâtiments très bien isolés. Il est également très bien adapté aux installations frigorifiques, moyennes et grandes, en raison de sa faible inflammabilité avec l'équipement de sécurité approprié. Un projet de démonstration de l'Office fédéral de l'énergie a désormais démontré que ce type de pompes à chaleur peut être utilisé judicieusement pour le chauffage et le refroidissement dans un bâtiment de taille moyenne à usage de bureaux. Une pompe à chaleur de 50 kW de la société suisse Scheco – commutable entre les modes chauffage et refroidissement – a été mise en service en novembre 2017 dans une nouvelle construction du bureau d'ingénierie et de planification 3-Plan Haustechnik AG à Oberwinterthur. Entre-temps, les résultats de la campagne de mesure de près de deux ans menée par l'Institut de technique solaire (SPF) de l'École technique de Rapperswil de novembre 2017 à juin 2019 sont disponibles, accompagnés de scientifiques de la Haute école spécialisée

de Zurich (Institut pour les systèmes énergétiques et la technique des fluides) de Winterthur.

Un résultat important de l'étude peut se résumer en un seul chiffre: le coefficient de performance annuel de 3, avec lequel la pompe à chaleur fonctionne en mode chauffage (mode refroidissement: 2.8). La pompe à chaleur fournit donc trois fois plus de chaleur par rapport à l'électricité consommée pour les compresseurs, les groupes auxiliaires (pompes à réfrigérants, ventilateurs) et le dégivrage. « Ce résultat peut ne pas sembler excellent au premier abord mais un coefficient de 3 est une très bonne valeur si l'on considère que, en raison de la construction spéciale du bâtiment, l'installation doit être utilisée pour le chauffage ou le refroidissement uniquement lorsqu'il fait très froid ou très chaud à l'extérieur ; il s'agit ainsi d'un profil de pointe », affirme le responsable du projet Stefan van Velsen (3-Plan Haustechnik AG) avant d'ajouter: « Le réfrigérant propane explique une partie de ce bon résultat, lequel serait d'environ 5% plus mauvais avec un réfrigérant comme le R410A. » Le coefficient de performance annuel ne doit pas être confondu avec le coefficient de performance (relatif à la machine). Dans le présent projet, ce dernier est de 4.6 (mode chauffage) ou de 5.8 (mode refroidissement).

Des chauffages plus petits

La société 3-Plan Haustechnik AG a planifié son nouveau bâtiment conformément à la norme Minergie P. Quatre étages de

bureaux s'étendent derrière la légère façade en bois. Pour des raisons climatiques, aucun vitrage d'angle n'a été ajouté. Un radiateur basse température avec une température d'entrée de seulement 25 °C assure l'approvisionnement en chaleur. Ce même radiateur est utilisé en été pour la répartition du froid. « En cas d'occupation complète des 150 postes de travail, notre bâtiment n'aurait pas besoin d'être chauffé ou climatisé du tout si les utilisateurs toléraient une température de 20 °C en hiver et de 27 °C en été. Mais pour répondre aux exigences de confort des collaborateurs, un système de chauffage et de refroidissement est indispensable pour des postes de travail haut de gamme », explique van Velsen. La température ambiante des bureaux en hiver ne doit pas être inférieure à 22 °C (à 21°C dans la salle de conférence) et ne doit pas dépasser 26 °C en été, la température ciblée étant encore plus étroitement définie que l'exige la norme SIA 180. D'après les mesures, les besoins en chaleur (ventilation comprise) sont de 13,8 kWh/m²a, les besoins en froid de 1,1 kWh/m²a, ce qui est nettement inférieur aux exigences de Minerergie P (24 kWh/m²a). La valeur est plusieurs fois inférieure à ce dont les bâtiments existants rénovés et même les bâtiments neufs bien isolés ont besoin dans d'autres cas.

Le besoin réel en énergie concret est si faible que la pompe à chaleur est trop grande, comme le fait remarquer van Velsen: « Selon la norme SIA 384.201, nous aurions dû installer une pompe à chaleur d'une puissance de 80 kW. Finalement, nous avons opté pour 50 kW. Nous savons aujourd'hui que 30 kW auraient suffi. » Bien que la pompe à chaleur utilisée présente un bon comportement en fonctionnement à charge partielle grâce à quatre compresseurs réglables individuellement, elle pourrait être exploitée à un point de fonctionnement encore meilleur avec une pompe à chaleur plus petite. Dans le rapport final, les chercheurs formulent la recommandation suivante: « Pour les projets futurs, l'accent devrait porter sur la conception correcte des systèmes de chauffage et de refroidissement pour ces nouveaux types de systèmes de bâtiment, dans la mesure où les outils et les normes classiques ne les représentent pas suffisamment. En outre, il faudra garder un œil sur les pertes de veille des générateurs d'énergie en cas de faibles besoins en chaleur et en refroidissement. Dans tous les cas, il convient de contrôler comment assurer une exploitation régulière optimale de la pompe à chaleur réversible avec un système supplémentaire économique – par exemple avec une production bivalente ou un système de sauvegarde. »

ALTERNATIVE AUX SONDES GÉOTHERMIQUES

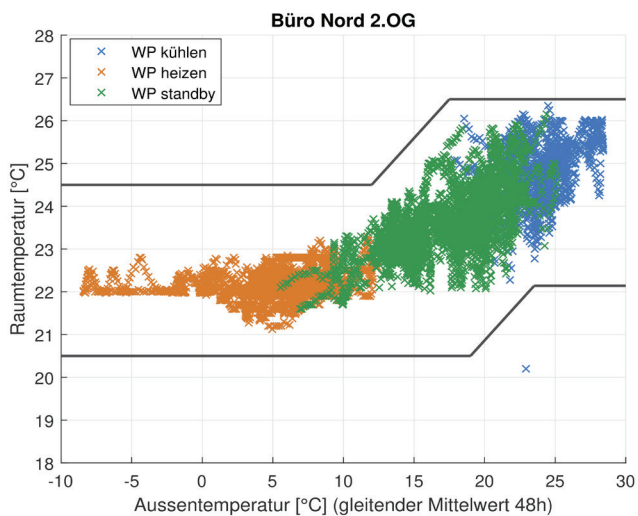
La société 3-Plan Haustechnik AG a opté pour une pompe à chaleur air/eau pour son nouvel immeuble de bureaux à Oberwinterthur car ce dernier se situe dans une zone d'eaux souterraines de faible épaisseur, dans laquelle l'utilisation des eaux souterraines ainsi que les sondes et les corbeilles géothermiques sont interdites. Selon les informations de Stefan van Velsen, les systèmes géothermiques seraient énergétiquement moins onéreux pour la production de chaleur mais toujours plus chers qu'une pompe à chaleur air/eau. Le propane frigorigène est le facteur qui fait augmenter le prix du système de chauffage choisi à Oberwinterthur. A ce sujet, les responsables du projet écrivent dans le rapport final: « En tant que réfrigérant, le propane est énergétiquement efficace et écologique. Toutefois, les coûts d'investissement sont plus élevés, car il s'agit encore d'installations individuelles. » BV



Trois types d'ouvertures: les grandes fenêtres apportent de la lumière et de la chaleur dans les bureaux mais ne s'ouvrent pas. Si les utilisateurs ont trop chaud, ils peuvent ouvrir la fenêtre supplémentaire (comme sur l'image). Au-dessus de la fenêtre supplémentaire se trouve une troisième ouverture qui s'ouvre automatiquement, par exemple pour le refroidissement nocturne pendant les mois estivaux. Photo: B. Vogel

Le propane sous contrôle

De nombreuses personnes connaissent le propane en tant que combustible pour le barbecue. En raison de sa grande inflammabilité, l'utilisation du gaz dans les pompes à chaleur est soumise à des exigences strictes; son application nécessite des mesures de sécurité élaborées, en particulier pour l'installation à l'intérieur. C'est pourquoi la pompe à chaleur a été placée sous le toit pour l'installation de démonstration à Oberwinthur. Un système de surveillance du gaz sert à contrôler la concentration de réfrigérant à l'intérieur du boîtier insonorisé. En cas de fuite, le boîtier complet de la machi-

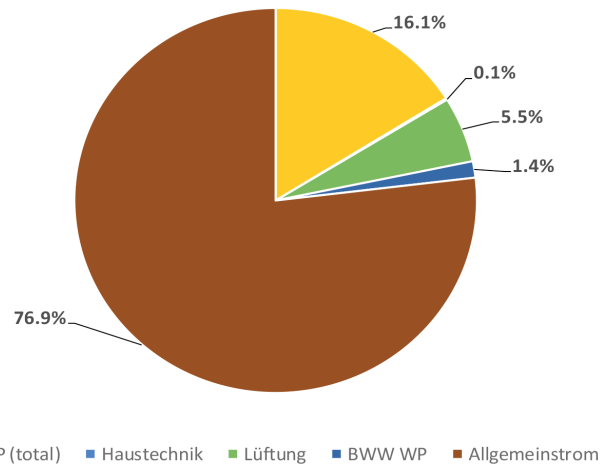


Température ambiante dans un bureau orienté vers le nord au 2e étage, en fonction de la température extérieure, pendant 48 heures. Les valeurs relatives à la température, telles que la norme SIA 180 les définit, sont très bien respectées. Graphique: Rapport final de l'OFEN

ne est mis hors tension. En cas de dommage, un ventilateur assure l'évacuation du propane dans l'environnement afin d'éviter la formation d'un mélange gaz-air inflammable.

Dans le cadre d'un projet de recherche, les scientifiques du SPF ont également analysé la consommation énergétique du bâtiment complet (cf. graphique à droite). Ce faisant, il s'est avéré que l'hypothèse largement répandue selon laquelle le chauffage représente la plus grande part de la consommation d'énergie ne s'applique plus dans ce cas. Seuls 16% de la consommation d'électricité totale (consommation des usagers et des serveurs) reviennent à la pompe à chaleur au propane réversible (et ainsi au chauffage et au refroidissement du bâtiment), 5,5% à la ventilation et 1,4% à une seconde pompe à chaleur, laquelle couvre les besoins en eau chaude, qui sont nettement plus faibles dans un bâtiment à usage de bureaux que dans les bâtiments résidentiels. Le serveur consomme plus d'électricité que le chauffage et le refroidissement réunis. « Si nous voulons continuer d'améliorer l'efficacité, le chauffage n'offre guère de marge de manœuvre. La nouvelle approche se concentre sur les serveurs, les ordinateurs et l'éclairage », affirme van Velsen.

➤ Le **rapport final** du projet « Nouvelle pompe à chaleur réversible air/eau avec réfrigérant naturel (propane) pour un bâtiment à usage de bureaux énergétiquement efficace » est disponible sur:
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=38189>



La part d'électricité générale est plus importante que le chauffage et le refroidissement dans la consommation énergétique totale. Les serveurs représentent environ un cinquième de l'alimentation électrique générale, même s'ils sont relativement petits avec une puissance d'environ 1,9 kW pour l'usage local. Graphique: Rap. final de l'OFEN

➤ Stephan Renz (renz.btr[at]swissonline.ch), directeur du programme de recherche de l'OFEN sur les pompes à chaleur et la technique du froid, et le Dr Men Wirz (men.wirz[at]bfe.admin.ch), responsable du programme pilote et de démonstration de l'OFEN, communiquent des **informations** sur le projet.

➤ Vous trouverez d'autres **articles spécialisés** concernant les projets de recherche, les projets pilotes et de démonstration ainsi que les projets phares dans le domaine des pompes à chaleur et de la technique du froid sur www.bfe.admin.ch/ec-pac-froid.

L'OFEN SOUTIENT DES PROJETS

La campagne de deux ans pour la pompe à chaleur propane-air/eau à Oberwinterthur compte parmi les projets de démonstration avec lesquels l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) soutient l'application économique et rationnelle de l'énergie et encourage l'utilisation des énergies renouvelables. L'OFEN soutient des projets pilotes, de démonstration et des projets phares avec 40% des dépenses imputables non amortissables. Des requêtes peuvent être déposées à tout moment.

➤ www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration