Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 114 (2023)
Heft: 2

Artikel: Réseau d'anergie à base de CO2
Autor: Dorsaz, Cédric / Henchoz, Samuel / Mian, Alberto
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1053138

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 05.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Centrale technique du réseau d'anergie au CO_2 réalisé sur le site du campus Energypolis, à Sion.

Réseau d'anergie à base de CO_2

Un réseau thermique efficace | Le développement rapide des réseaux thermiques constitue un élément essentiel des stratégies élaborées pour atteindre les objectifs de décarbonation d'ici 2050. Un réseau d'anergie au CO_2, tel que celui réalisé sur le campus Energypolis, à Sion, représente une solution efficace et rentable pour de nombreux cas d'application où un réseau standard à eau n'est pas envisageable.

CÉDRIC DORSAZ, SAMUEL HENCHOZ, ALBERTO MIAN, JESSEN PAGE

Un quart des émissions de gaz à effet de serre à travers le monde provient des systèmes énergétiques utilisés pour chauffer ou refroidir les bâtiments. Ce secteur tient donc une place importante dans la transition vers un monde décarboné. Cette position est d'autant plus importante que la demande énergétique liée aux systèmes de chauffage et de climatisation ne cesse d'augmenter, alors que le taux de rénovation des bâtiments (<1 %) est largement inférieur aux objectifs fixés par la Confédération.

La décarbonation des systèmes de chauffage et de refroidissement en milieu urbain dense représente toutefois un vrai défi. Étant donné leur forte densité, ces zones sont propices à l'implantation de réseaux énergétiques pour amener l'énergie de sources renouvelables périphériques, souvent plus évidentes à exploiter, vers les consommateurs du centre urbain. La pratique montre cependant que plus un quartier est dense, plus les contraintes d'implantation d'un réseau sont élevées (encombrement du sous-sol, rues pavées, difficultés à concilier travaux et fluidité de la circulation, etc.). Les réseaux d'anergie au CO_2 pourront résoudre certains de ces défis dans les années à venir.

Qu'est-ce qu'un réseau d'anergie ?

La technologie des réseaux d'anergie a été passablement développée au cours des 15 dernières années. Un réseau, ou boucle, d'anergie est un réseau thermique à basse température (entre 3 et 15 °C) qui offre des services de chaud (via des pompes à chaleur) et de froid (par refroidissement direct). Ces réseaux sont particulièrement adaptés pour valoriser efficacement la chaleur de l'environnement (lacs, rivières, nappes phréatiques, géothermie, etc.) et les rejets thermiques d'un site tirant profit des simultanéités entre les besoins de chaud et de froid. Dans ce cas, la chaleur à basse température est directement transférée des consommateurs de froid (réfrigération, refroidissement informatique ou de processus, etc.) vers les consommateurs de chaud (pompes à chaleur).

Les réseaux d'anergie actuellement en opération utilisent l'eau en phase

Figure: L. Darbellay

liquide comme fluide de transfert. Pour être compatible à la fois avec les régimes de température imposés par la climatisation et ceux requis par les pompes à chaleur, une petite différence de température est nécessaire entre les deux lignes du réseau (généralement entre 3 et 6 °C) : il en résulte une faible densité énergétique volumique de l'ordre de 3,3 à 6,6 kWh d'énergie thermique à basse température par m³ d'eau transféré. Cette faible densité impose des diamètres de conduites, des fouilles et des travaux de génie civil conséquents au regard de la puissance thermique mise en jeu. Il en va de même pour la consommation électrique des pompes servant à faire circuler l'eau dans le réseau.

Les avantages d'un réseau d'anergie à base de CO_2

En exploitant la chaleur latente d'évaporation/condensation d'un fluide plutôt que sa chaleur sensible, il est possible d'alimenter les pompes à chaleur et les échangeurs de froid d'un réseau d'anergie en augmentant significativement sa densité énergétique et, par conséquent, de réduire son empreinte. Pour ce faire, le fluide utilisé doit avoir, à la température du réseau d'anergie (3 à 15 °C), une chaleur latente d'évaporation/condensation élevée ainsi que des densités élevées et des viscosités faibles pour chacune des phases, liquide et gazeuse.

Le CO_2 possède ces caractéristiques **(tableau)**. En considérant la densité moyenne des phases gazeuse et liquide, la densité volumique d'énergie thermique à basse température est comprise entre 24,1 et 31,3 kWh par m³ de CO_2 transféré, soit une valeur 3,6 à 9,5 fois plus élevée qu'avec de l'eau. Une fois toutes les contraintes hydrauliques prises en compte, l'empreinte d'un réseau d'anergie à CO_2 est environ 2 à 3 fois plus faible que celle d'un réseau à eau équivalent. Une telle réduction exerce aussi un effet bénéfique sur la complexité des travaux de pose, qui se trouvent fortement simplifiés par le fait que les composants à assembler sont moins volumineux et plus légers. Les travaux d'excavation nécessaires sont dès lors nettement moins conséquents. La contrepartie qu'impose le CO_2 est sa pression relativement élevée. Aux températures de réseau considérées, celle-ci est comprise entre 38 et 51 bar.

	Phase liquide	Phase gazeuse
Masse volumique à 3 °C	909 kg/m³	107 kg/m³
Viscosité cinématique à 3 °C	0,104 mm²/s	0,141 mm²/s
Chaleur latente à 3 °C	222 kJ/kg	
Masse volumique à 15 °C	821 kg/m³	161 kg/m³
Viscosité cinématique à 15 °C	0,091 mm²/s	0,105 mm²/s
Chaleur latente à 15 °C	177 kJ/kg	

Tableau Propriétés physiques du CO_2 dans ses phases liquide et gazeuse, aux températures limites de fonctionnement appliquées au réseau CO_2.

Un développement accéléré

Deux éléments caractéristiques ont permis l'accélération et la mise à l'échelle de la technologie. D'abord, le CO_2 est utilisé comme réfrigérant depuis la fin du XIXe siècle. Comme pour d'autres fluides naturels tels que le propane ou l'ammoniac, son utilisation a été abandonnée à partir des années 1930 pour faire place à des fluides qui se sont avérés par la suite nocifs pour la couche d'ozone (ozone depletion potential, ODP) et à fort impact environnemental (global warming potential, GWP).

Aujourd'hui, le CO_2 suscite à nouveau un grand intérêt et est utilisé dans la réfrigération industrielle et commerciale en raison de son faible impact sur l'environnement et de la grande efficacité des machines disponibles sur le marché. Plus de 40 000 installations de froid commercial à CO_2 étaient en service en Europe à la fin 2021 (dans les supermarchés, patinoires, halls d'entreposage de fruits et légumes, etc.) [1]. Cette adoption accélérée du CO_2 à des fins de réfrigération facilite l'intégration de composants existants dans la réalisation d'un réseau CO_2 tel que celui du campus Energypolis, à Sion, d'autant plus que les normes applicables aux sous-stations et aux machines sont les mêmes.

Ensuite, l'industrie pétrochimique a développé des conduites flexibles en matériel thermoplastique renforcé qui permettent de transporter des fluides à des pressions de fonctionnement de plus de 100 bar. Grâce aux deux points susmentionnés, le niveau actuel de développement de la technologie permet déjà de réaliser des installations de quelques MW de puissance.

Un démonstrateur sur le site du campus Energypolis

Les différents travaux de recherche, principalement menés à l'Institut de génie mécanique de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) entre 2008 [2] et 2019 [3–7], ont permis de construire les bases pour la réalisation d'un réseau de taille significative. Les développements et savoir-faire d'Exergo pour la réalisation du réseau de conduites thermoplastiques, l'expertise reconnue de Zero-C dans la réalisation d'installa-

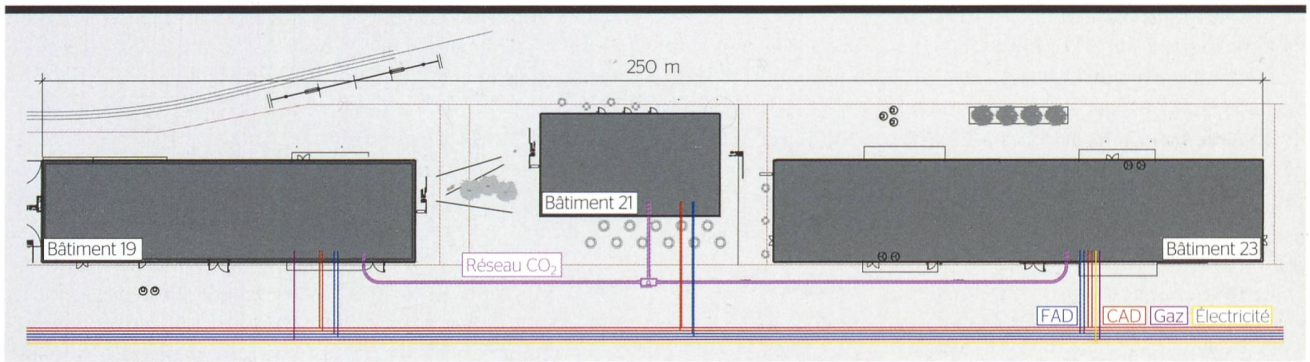


Figure 1 Bâtiments 19, 21 et 23 du campus Energypolis approvisionnés par le réseau CO_2 et les réseaux de froid à distance (FAD) et de chaleur à distance (CAD) d'Oiken.

Figure : Évéquoz Ferreira architectes et HES-SO Valais

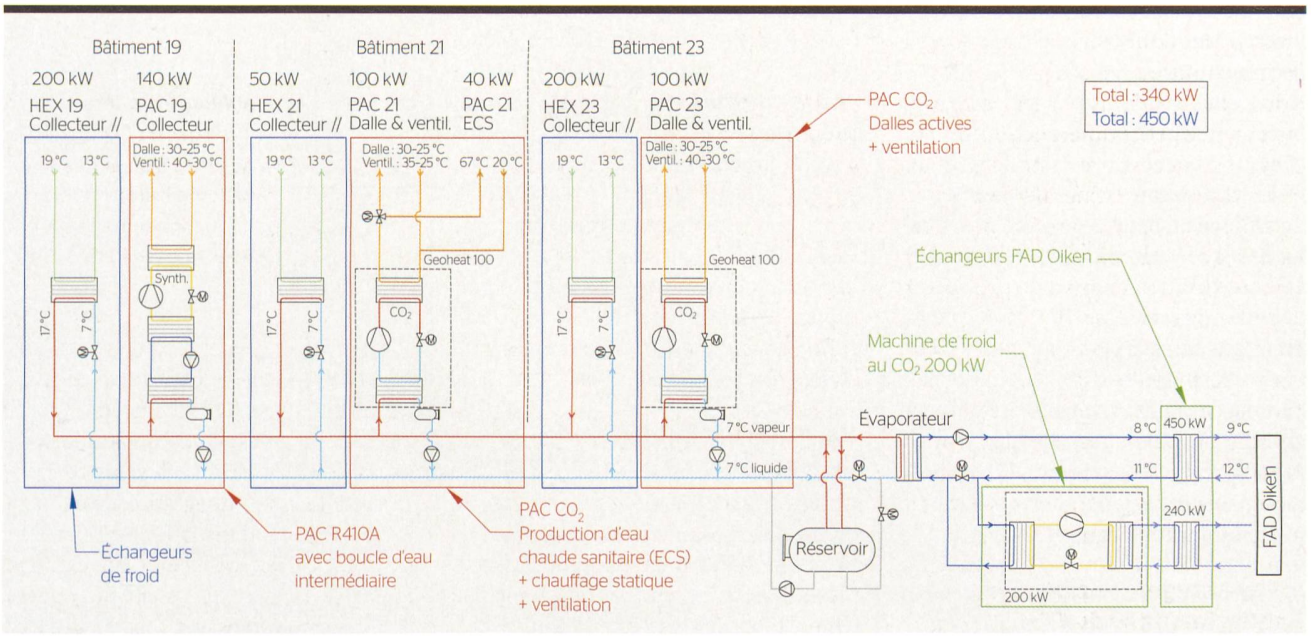


Figure 2 Schéma de l'ensemble des composants du réseau CO_2 : échangeurs de froid et pompes à chaleur dans les sous-stations, réservoir, échangeurs et machine de froid dans la centrale.

tions à CO_2, la mise à disposition par Oiken d'un raccordement à la source de chaleur renouvelable (nappe phréatique), et le pilotage du projet ainsi que la gestion de l'intégration dans les bâtiments par la HES-SO Valais-Wallis ont créé les conditions favorables nécessaires pour mener à bien la réalisation d'un démonstrateur de réseau de distribution de chaleur et de froid à base de CO_2 sur le nouveau site du campus Energypolis, à Sion, en Valais.

Le but de cette installation consiste à démontrer la validité, la fiabilité et la sécurité de fonctionnement du concept sous sa forme finale et dans des conditions d'exploitations réelles, et à en évaluer ensuite les performances énergétiques et économiques.

Le démonstrateur de Sion a été installé en redondance des réseaux de chaleur et de froid à distance (CAD et FAD) approvisionnant déjà les bâtiments (**figure 1**). Cette configuration offre une flexibilité maximale pour les différents tests de performance puisqu'elle permet au démonstrateur de fournir des services de chaud et de froid sans que les bâtiments n'en dépendent pour leur approvisionnement en chaleur et en froid.

La configuration plus en détail

Le démonstrateur est constitué d'une centrale (d'équilibrage), dont le rôle est de soutirer de la chaleur à la source thermique à disposition en saison froide (ou respectivement d'injecter de la chaleur dans celle-ci en saison chaude), de trois sous-stations – consommatrices de chaleur et/ou de froid – et du réseau CO_2 lui-même, qui relie les sous-stations à la centrale (**figure 2**).

La centrale est composée d'un échangeur de chaleur entre le réseau CO_2 et la source d'énergie renouvelable, ici la nappe phréatique reliée par le FAD, et d'un réservoir tampon pour l'équilibrage du bilan d'énergie totale du réseau.

Le réseau est, quant à lui, constitué d'une ligne de CO_2 à l'état liquide et d'une ligne de CO_2 à l'état gazeux circulant dans des tuyaux flexibles en matériaux composites capables de résister à une pression de plus de 100 bar. La ligne liquide est à plus haute pression que la ligne gazeuse. La différence de pression entre les lignes, de l'ordre de 1 à 2 bar, permet d'assurer l'alimentation des échangeurs de cha-

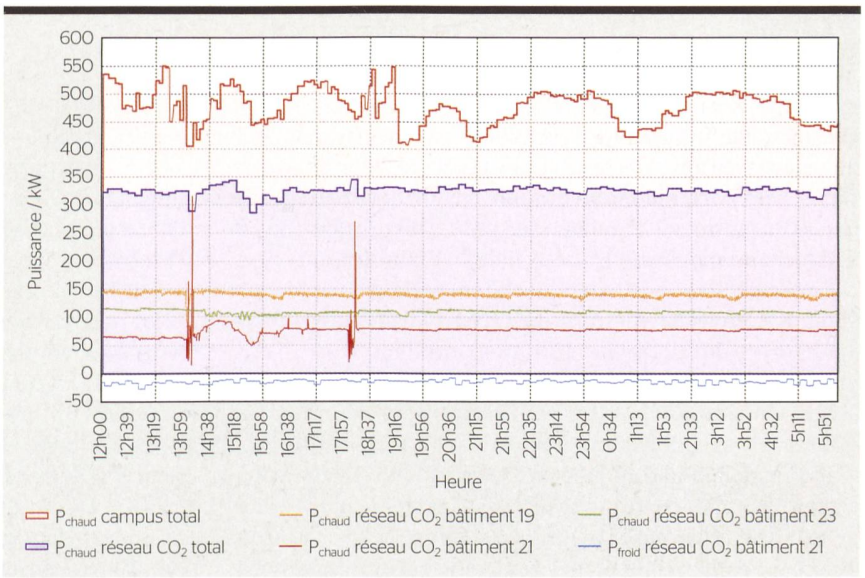


Figure 3 Bilan des puissances thermiques du démonstrateur de réseau d'anergie au CO_2 sur 18 heures d'un jour d'hiver type : consommation totale en chaleur du site (en rouge), approvisionnement total en chaleur par le réseau CO_2 (en violet) et par les sous-stations 19 (en orange), 21 (en bordeaux) et 23 (en vert), ainsi qu'approvisionnement en froid par la sous-station 21 (en bleu).

Figures : Zero-C ; HES-SO Valais

leur utilisés pour le refroidissement direct, c'est-à-dire sans avoir recours à des machines de froid.

Les trois sous-stations, une par bâtiment, utilisent chacune un échangeur de chaleur pour l'approvisionnement en froid et une pompe à chaleur pour la production de chaleur nécessaire au chauffage et à l'eau chaude sanitaire (**figure 2**). Une sous-station requiert du réseau uniquement le solde du bilan d'énergie entre ses besoins de chaud et de froid. Par exemple, dans le cas théorique où le bâtiment aurait des besoins en froid et en chaleur parfaitement équilibrés, il ne dépendrait pas du réseau. Il en va de même pour l'ensemble des sous-stations: si les besoins nets en chaud et en froid de tous bâtiments sont nuls, la centrale n'a pas besoin de s'approvisionner à partir de sa source thermique.

À propos du fonctionnement

La puissance totale installée est de 340 kW thermiques pour le « chaud » et 450 kW thermiques pour le froid. En hiver, les pompes à chaleur soutirent de la chaleur au réseau en condensant le CO_2 gazeux et en envoyant le CO_2 liquide ainsi produit à la centrale. La centrale compense le déficit de CO_2 gazeux en évaporant le surplus de CO_2 liquide grâce à de la chaleur soutirée à la nappe.

En été, le circuit de rafraîchissement évacue sa chaleur en évaporant le CO_2 liquide du réseau, et en envoyant le CO_2 gazeux produit à la centrale. La centrale compense alors le déficit de CO_2 liquide en condensant le surplus de CO_2 gazeux grâce à la chaleur rejetée dans la nappe. Une machine de froid a été installée dans la centrale pour les besoins de démonstration afin de permettre d'émuler différentes températures de sources (par exemple, une rivière, une nappe ou un lac).

Vers une optimisation de la performance énergétique

Le démonstrateur a été mis en service en mode « froid » en mai 2022, puis en mode « chaud » en novembre 2022. Comme le montre la **figure 3**, il est déjà capable de couvrir plus de 50 % des besoins thermiques du site ainsi que de profiter de l'effet anergie, c'est-à-dire de la production simultanée de chaud et de froid (ici, par le biais du local serveur). Cette démonstration de faisabilité (proof of concept) étant déjà établie, les efforts de recherche actuels sont voués à mesurer sa performance énergétique et à trouver des solutions techniques, typiquement de gestion des installations, permettant de l'améliorer.

Références

[1] r744.com/atmosphere-europe-natural-refrigerant-technologies-seen-as-good-investment/

[2] C. Weber, « Multi-objective design and optimization of district energy systems including polygeneration energy conversion », Thèse EPFL n° 4018, 2008.

[3] S. Henchoz, « Potential of refrigerant based district heating and cooling networks », Thèse EPFL n° 6935, 2016.

[4] P. Chatelan, « Potentiels thermo-économiques comparés de réseaux avancés fonctionnant au CO_2 et à l'eau », travail pratique de Master effectué au Laboratoire d'énergétique industrielle de l'EPFL, 2014.

[5] S. Henchoz, C. Weber, F. Maréchal, D. Favrat, « Performance and profitability perspectives of a CO_2 based district energy network in Geneva's city center », Energy, Vol. 85, p. 221-235, 2015. doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.079

[6] S. Henchoz, P. Chatelan, F. Maréchal, D. Favrat, « Key energy and technological aspects of three innovative district energy networks », Energy, Vol. 117, p. 465-477, 2016. doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.065

[7] R.-A. Suciu, « 5th generation district energy systems for low carbon cities », Thèse EPFL n° 7332, 2019.

Auteurs

Cédric Dorsaz est adjoint scientifique à la HES-SO Valais.
→ HES-SO Valais-Wallis, 1950 Sion
→ cedric.dorsaz@hes-so.ch

Samuel Henchoz est CTO d'Exergo SA.
→ Exergo SA, 1400 Yverdon-les-Bains
→ samuel.henchoz@exergo.com

Alberto Mian est CEO d'Exergo SA.
→ alberto.mian@exergo.com

Jessen Page est professeur à la HES-SO Valais.
→ jessen.page@hes-so.ch

Les auteurs tiennent à remercier l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) pour le financement du projet « Démonstration de réseau CO_2 » au travers de son programme pilote et de démonstration, les sociétés Zero-C et Oiken ainsi que le professeur François Maréchal de l'EPFL pour leurs contributions essentielles à la réussite de ce projet.

IN KÜRZE

CO_2-basiertes Anergienetz

Ein effizientes Wärmenetz

Die schnelle Entwicklung von Wärmenetzen ist entscheidend, um die Dekarbonisierungsziele bis 2050 zu erreichen. Ein CO_2-Anergienetz stellt eine effiziente und wirtschaftliche Lösung für viele Anwendungsfälle dar, in denen ein wasserbasiertes Standardnetz nicht in Frage kommt.

Ein Anergienetz ist ein Niedrigtemperatur-Wärmenetz (3 bis 15 °C), das sowohl Wärme (über Wärmepumpen) als auch Kälte (durch direkte Kühlung) anbietet. Diese Netze ermöglichen die effiziente Nutzung von Umweltwärme (Seen, Grundwasser, Erdwärme usw.) und Abwärme eines Standorts, der gleichzeitig Wärme und Kälte nutzt. Die heute betriebenen Anergienetze verwenden Wasser in flüssiger Phase als Übertragungsmedium. Aufgrund des geringen Temperaturunterschieds zwischen der heissen und der kalten Leitung haben diese Netze eine geringe volumetrische Energiedichte. Durch die Nutzung der latenten Verdampfungs-/Kondensationswärme eines Mediums anstelle der fühlbaren Wärme kann die Energiedichte eines Anergienetzes deutlich gesteigert werden. CO_2 besitzt alle nötigen Eigenschaften (hohe latente Verdampfungs-/Kondensationswärme sowie hohe Dichten und niedrige Viskositäten sowohl in der flüssigen als auch in der gasförmigen Phase) für ein solches Netzwerk und ermöglicht eine bis zu 9,5-mal höhere Wärmeenergiedichte pro m³ als mit Wasser.

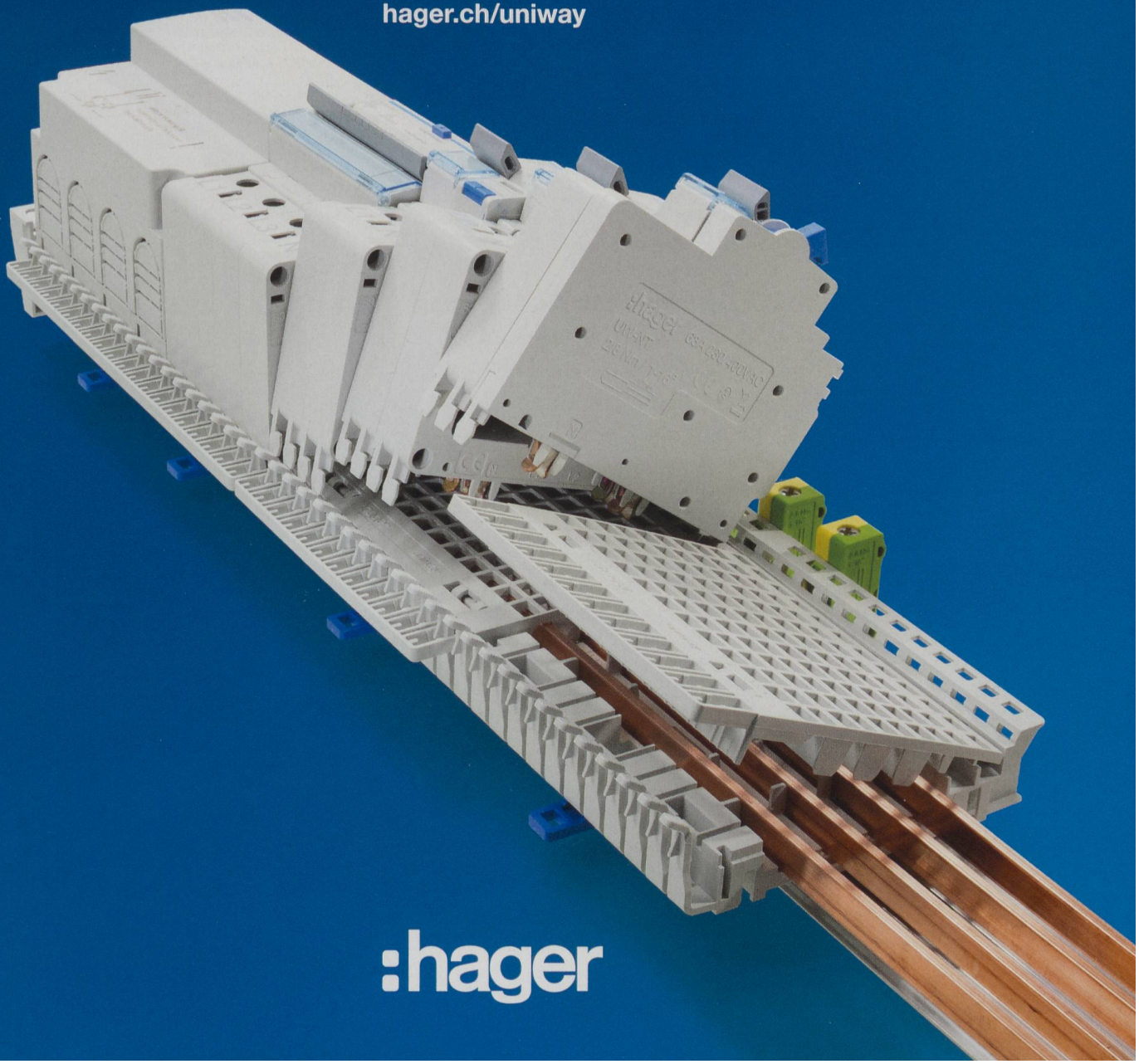
Ein Forschungsprojekt mit fünf Partnern, das durch das Pilot- und Demonstrationsprogramm des BFE unterstützt wurde, ermöglichte die Realisierung eines Demonstrators für ein CO_2-Anergienetz von signifikanter Grösse (installierte Gesamtleistung von 350 kW thermisch für die Wärme bzw. 450 kW für die Kälte) am neuen Standort des Energypolis-Campus in Sion. Dieser wurde im Mai 2022 im «Kalt»-Modus und im November 2022 im «Warm»-Modus in Betrieb genommen. Er ist bereits in der Lage, mehr als die Hälfte des thermischen Bedarfs des Standorts zu decken sowie den Anergieeffekt, d. h. die gleichzeitige Erzeugung von Wärme und Kälte, zu nutzen. Die aktuellen Forschungsaktivitäten zielen darauf ab, die Energieeffizienz zu messen und technische Lösungen zu finden, um sie zu verbessern.

Système de socles enfichables : uniway

La garantie d'une meilleure flexibilité

uniway est le nouveau système compact de socles enfichables de Hager. Il offre aux concepteurs et tableautiers une flexibilité maximale lors de la planification et de l'exécution. Le système à 5 conducteurs permet une alimentation rapide et simple d'une grande variété d'appareils modulaires.

hager.ch/uniway



:hager