

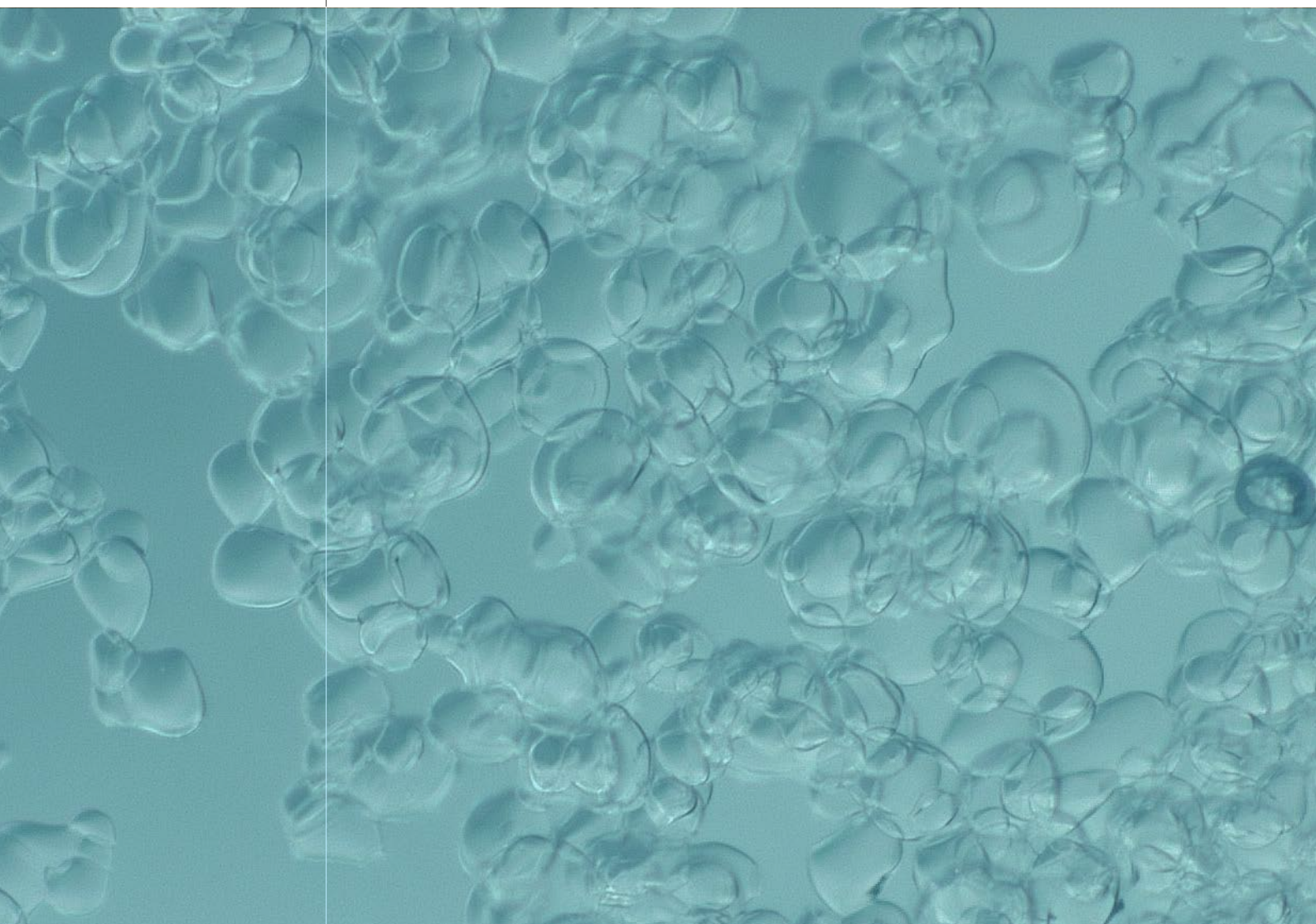


Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

Recherche énergétique et innovation

Rapport 2024



Editorial

Les défis du changement climatique et la sécurité de l'approvisionnement énergétique font partie des sujets les plus importants en Suisse et dans le monde. Outre la mise en œuvre de mesures d'efficacité et l'application de technologies énergétiques renouvelables, la recherche énergétique joue un rôle important. Elle aide à étudier le système énergétique de plus en plus complexe, avec différentes interactions entre des acteurs très divers et différents secteurs énergétiques, ainsi qu'à développer des solutions techniques et non techniques.

L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) encourage et coordonne la recherche énergétique suisse dans une approche programmatique depuis de nombreuses années et soutient la recherche orientée vers les applications, les projets pilotes et de démonstration ainsi que les grands consortiums de recherche interdisciplinaires. Trois instruments de promotion différents, mais complémentaires, sont utilisés à cet égard. La présente brochure présente à titre d'exemple des projets que l'OFEN soutient et accompagne étroitement, ceci à titre représentatif pour un grand nombre d'autres projets de recherche, projets pilotes et projets de démonstration. Les codes QR indiqués permettent d'accéder à des informations détaillées.

Office fédéral de l'énergie OFEN
Section Recherche énergétique et Cleantech

(Image de couverture) Les accumulateurs de glace présentent un fort potentiel pour la fourniture et le stockage de chaleur et de froid, et peuvent être utilisés aussi bien dans les bâtiments résidentiels que dans l'industrie. Afin d'être davantage utilisés à l'avenir, ils doivent être plus faciles à installer, modulables en taille et moins coûteux. Des chercheurs de la Haute école spécialisée de Suisse orientale travaillent sur un nouveau procédé basé sur une fine purée de glace (« slurry de glace », visible ici au microscope).

Le principe de base des accumulateurs de glace réside dans la chaleur dite latente : lors du passage de l'eau à la glace à 0 °C, de grandes quantités de chaleur utilisable peuvent être extraites. Les accumulateurs de glace classiques sont installés dans des caves ou des cavernes remplies de tubes échangeurs de chaleur. Le problème est que la couche de glace qui se forme sur les tubes a un effet isolant, ce qui entrave considérablement le transfert de chaleur. Le concept innovant de l'institut solaire SPF de la Haute école spécialisée OST contourne ce problème en ne formant pas de glace « en bloc », mais sous forme de glace pilée (épaisse). Cette bouillie de glace peut ensuite être acheminée vers un réservoir séparé de l'échangeur thermique.

Dans le cadre des deux projets « SlurryStore » et « ModIceCrys » soutenus par l'Office fédéral de l'énergie, cette technologie a été ou est actuellement étudiée de manière expérimentale et à l'aide de modèles numériques. Les premières simulations et les premiers tests sont prometteurs. Cependant, certains défis restent à relever afin d'éviter le givrage dans tout le circuit et dans toutes les conditions de fonctionnement (source : Slurry ice under microscope/commons.wikimedia.org/Michael Froehlich [téléchargée le 16.05.25]).



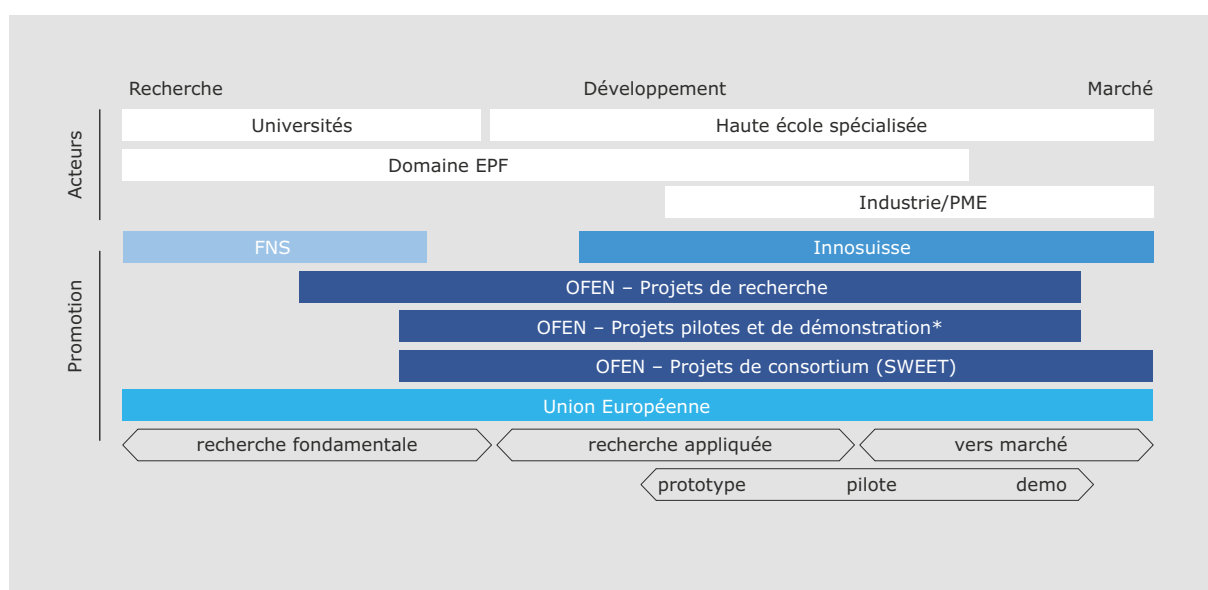
Sommaire

Editorial	2
Sommaire	3
Vue d'ensemble	
Promotion de la technologie et de l'innovation	4
Programmes de recherche énergétique thématiques	5
Encouragement de recherche interdisciplinaire et transdisciplinaire avec SWEET	5
Statistiques de la recherche énergétique en Suisse	7
Highlights	
Valorisation optimale des résidus issus de la biomasse	10
Des chenaux glaciaires comme réservoir d'énergie	12
Le système électrique du futur récompense la flexibilité	14
Détecter les pompes à chaleur inefficaces grâce à l'IA	18
Autoroutes électriques alternatives	20
Devenir une région climatiquement neutre	24
Affaires internationales	
Coopération internationale	26
Participation aux programmes de collaboration technologique de l'AIE	27
Participation aux European Partnerships	27
D'autres coopérations internationales	27

Promotion de la technologie et de l'innovation

Avec trois instruments complémentaires de promotion de la recherche et de l'innovation dans le domaine de l'énergie, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) couvre quasiment tout l'éventail de technologies énergétiques. Il se base sur le concept de recherche énergétique de la Confédération pour la période 2025–2028. Les sciences techniques, sociales et humaines (SSH) devront collaborer étroitement dès la conception de projets de recherche afin d'orienter les résultats de la recherche vers une application ultérieure à un stade précoce.

Les fonds de l'OFEN pour la recherche énergétique sont utilisés à titre de soutien pour remplir les lacunes dans le paysage de promotion. Ils sont utilisés de manière stratégique, conformément au concept, pour encourager l'intégration des chercheurs au niveau national et international. En 2024, quelque 50 millions de francs étaient disponibles et environ 400 projets en cours ont été accompagnés.



L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) coordonne la recherche et l'innovation dans le domaine de l'énergie sur une grande partie de la chaîne de valeur (Innosuisse = Agence suisse pour la promotion de l'innovation ; FNS = Fonds national suisse de la recherche scientifique).

* Le Conseil fédéral prévoit de supprimer le programme pilote et de démonstration dans le cadre du projet de programme d'allègement budgétaire 27.

Programmes de recherche énergétique thématiques

Avec ses programmes de recherche thématiques, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) couvre tout le spectre de la recherche énergétique. Ces programmes sont étroitement liés aux autres instruments de financement de l'OFEN comme le programme pour les projets pilotes et de démonstration et le nouveau programme SWEET. Les différents programmes

sont orientés selon les axes suivants : efficacité énergétique, énergies renouvelables, sciences humaines, sociales et économiques, stockage et réseaux. Des thèmes centraux tels que la « numérisation », le « couplage sectoriel » et le « stockage de l'énergie » sont traités dans l'ensemble des programmes.



Programmes de recherche énergétique de l'OFEN. Les Chiffres entre parenthèses indiquent le degré de maturité technologique des projets soutenus par le programme correspondant.

Encouragement de recherche interdisciplinaire et transdisciplinaire avec SWEET

Le programme d'encouragement SWEET – « SWISS Energy research for the Energy Transition » – soutient des consortiums de recherche interdisciplinaires et transdisciplinaires qui traitent des questions centrales de la stratégie énergétique 2050 et de la stratégie climatique à long terme de la Suisse. Des appels d'offres thématiques sont lancés à cet effet.

En collaboration avec l'Office fédéral de l'environnement, l'Office fédéral de l'énergie a lancé un appel d'offres sur l'objectif zéro émission nette pour 2024. Le futur consortium devra montrer comment la Suisse peut gérer les émissions de gaz à effet de serre difficilement évitables provenant de l'industrie, des usines d'incinération d'ordures ménagères et de l'agriculture, afin d'atteindre l'objectif de zéro émission nette d'ici 2050. L'accent sera mis sur le captage et le stockage du carbone (CSC) et les technolo-

gies à émissions négatives (NET), mais aussi sur des approches visant à réduire davantage les émissions de gaz à effet de serre difficilement évitables.

En 2024, le consortium RECIPE (Resilient Infrastructures for the Swiss Energy Transition) a remporté l'appel d'offres sur le thème « Infrastructures, changement climatique et résilience du système énergétique suisse ». Sous la direction de l'ETH Zurich, les chercheurs vont notamment identifier les effets du changement climatique sur le système énergétique suisses. Ils étudient également l'impact des perturbations – telles que les interruptions de l'approvisionnement énergétique ou les fluctuations des prix de l'énergie – sur l'économie, la société, les ressources et les écosystèmes.

Le consortium CoSi (Co-Evolution and Coordinated Simulation of the Swiss Energy System and Swiss



Society) est actif depuis 2023. Il coordonne l'élaboration de scénarios énergétiques des consortiums SWEET et intègre les connaissances issues des sciences sociales et humaines. Il se base sur une compréhension commune des modèles, précédemment développée dans le cadre de l'activité « CROSS » menée de 2021 à 2023 par les quatre premiers consortiums SWEET. Les définitions des scénarios ont été harmonisées afin que, par exemple, tous les modèles aient la même signification de « zéro net ». En outre, différents paramètres ont été harmonisés et alignés : le potentiel du bois énergie est désormais adapté aux dernières analyses et le potentiel des déchets pour la production de chaleur industrielle a été réduit, car ceux-ci sont utilisés ou destinés à être utilisés dans de nombreux endroits pour les réseaux de chauffage à distance.

Sur cette base commune, les chercheurs ont calculé et comparé les scénarios énergétiques à l'aide de sept modèles au total. Ceux-ci ont révélé des similitudes intéressantes, mais aussi des différences importantes : les modèles s'accordaient par exemple sur la part d'énergie solaire à construire d'ici 2050 et sur son interaction avec l'énergie hydraulique. En revanche, ils ont abouti à des résultats très différents concernant l'importance future de l'hydrogène ou la fourniture de chaleur industrielle pour l'industrie. Les données doivent être affinées afin d'obtenir des

prévisions plus cohérentes. Exemple : les chercheurs évaluent actuellement la quantité de chaleur dont l'industrie a besoin et à quelle température.

Les chercheurs du consortium CoSi travaillent actuellement à la prochaine comparaison de modèles. Ils continuent à mettre en évidence des développements techniques, mais s'efforcent surtout d'intégrer davantage les aspects liés aux sciences humaines et sociales dans leurs analyses. À cette fin, différents thèmes spécifiques sont examinés de manière plus approfondie, afin de mieux comprendre certains aspects de la transition énergétique. Des modèles basés sur des agents permettent par exemple d'étudier comment différents acteurs prennent leurs décisions. Les résultats indiquent si et dans quelles conditions la population ou les entreprises décident et agissent effectivement de manière à permettre la mise en œuvre des scénarios issus des modèles techniques. Les différentes analyses devraient débuter au second semestre 2025 et les premiers résultats sont attendus pour 2026.

Le consortium CoSi prévoit de réaliser trois cycles d'analyses de ce type d'ici 2032. Les scénarios énergétiques devraient ainsi gagner en pertinence et fournir de meilleures bases décisionnelles à la politique, à l'économie et à la société.

Irene Bättig, Sprachwerk GmbH

DeCarbCH



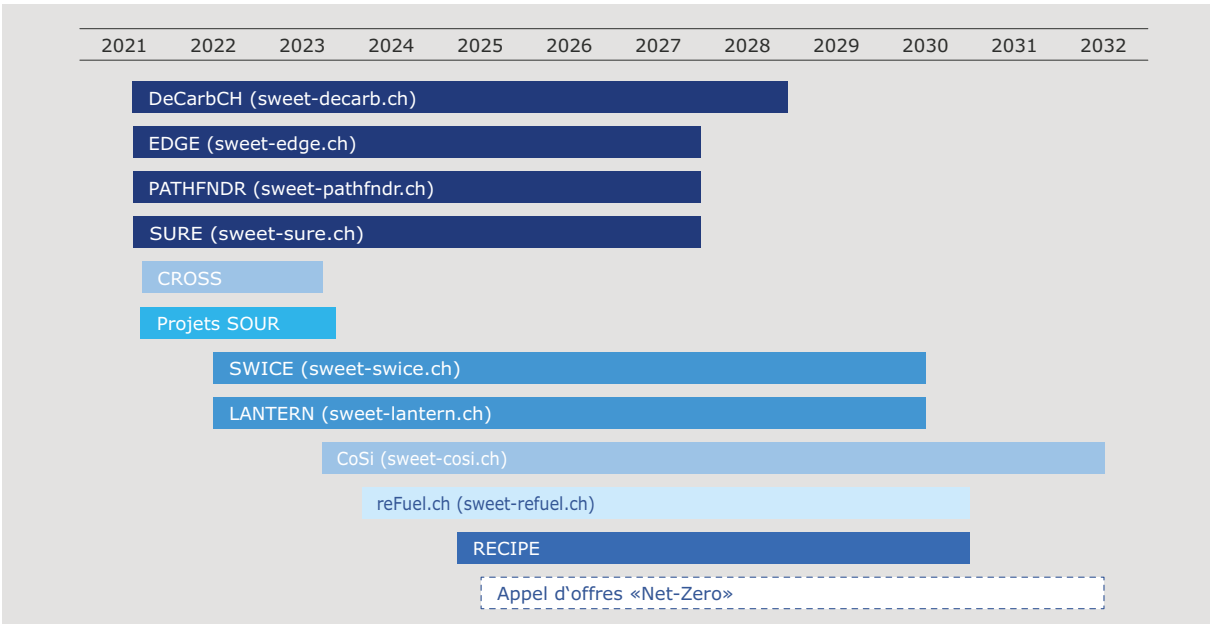
EDGE



PATHFNR



SURE



SWICE



LANTERN



CoSi



reFuel.ch

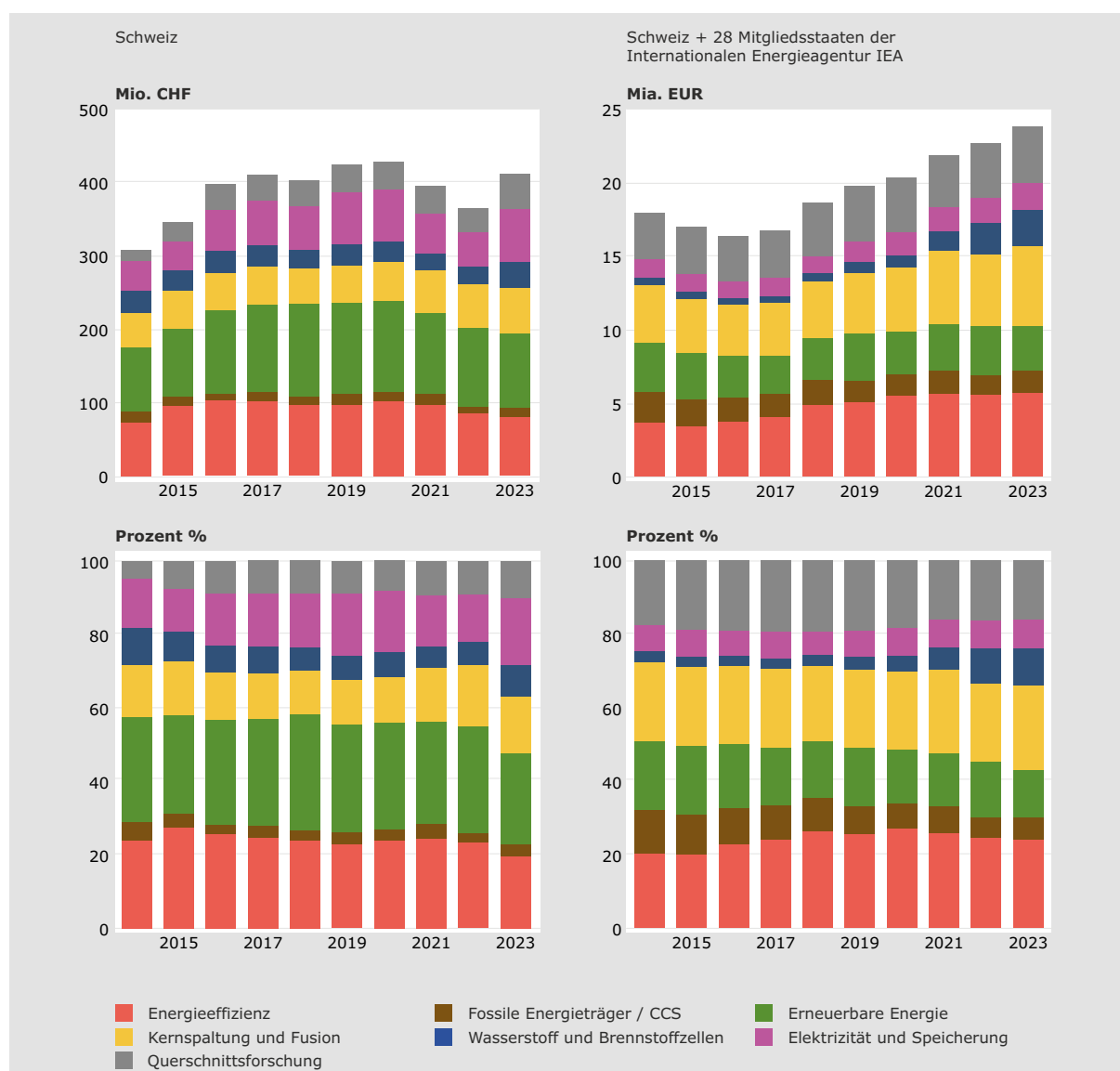


Aperçu des consortiums des appels d'offres clôturés, en cours et prévus dans le cadre du programme d'encouragement SWEET. Le consortium RECIPE a commencé ses travaux en 2024. Il identifiera les risques et développera des scénarios de vulnérabilité pour les infrastructures interdépendantes de l'énergie et des communications de la Suisse. Les consortiums issus d'appels d'offres antérieurs sont toujours actifs : DeCarbCH, EDGE, PATHFNR et SURE se penchent sur différents aspects du futur système énergétique suisse, notamment la décarbonisation de l'approvisionnement en chaleur et en froid, l'intégration des énergies renouvelables, le couplage sectoriel ainsi que la durabilité et la résilience. Les deux consortiums LANTERN et SWICE élaborent, dans le cadre de « laboratoires vivants », de nouveaux modes de vie, de travail et de mobilité ainsi que des solutions pour une Suisse décarbonée et efficace dans l'utilisation des ressources. CoSi examine comment le développement du système énergétique suisse et de la société suisse s'influencent mutuellement et intègre ces conclusions dans ses modèles et ses analyses de scénarios. ReFuel.ch s'intéresse aux carburants et combustibles durables ainsi qu'aux produits chimiques de base.

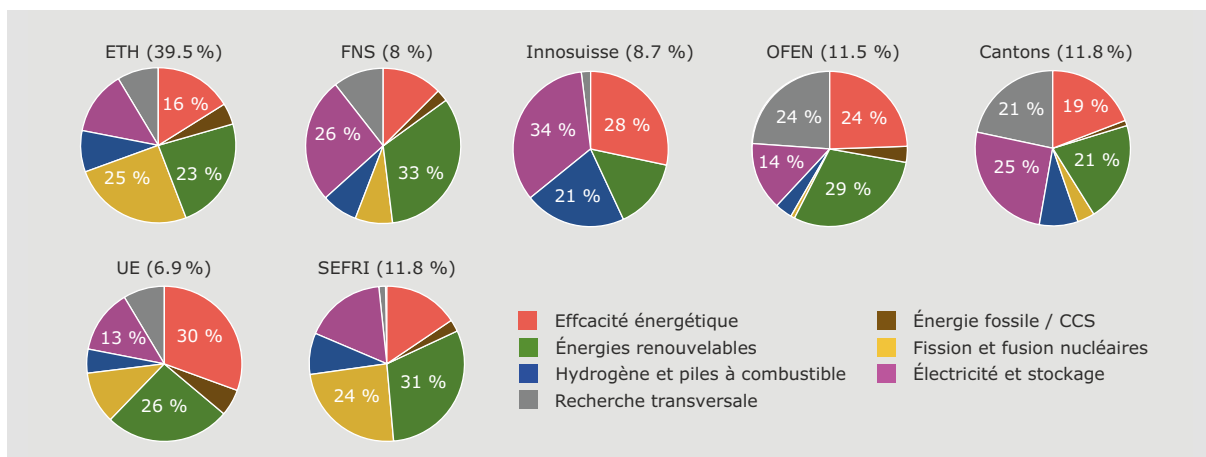
Statistiques de la recherche énergétique en Suisse

Depuis 1977, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) recense des données relatives aux projets de recherche et développement et aux projets pilotes et de démonstration. Ce relevé ne concerne que les projets financés – totalement ou en partie – par les pouvoirs publics (Confédération et cantons), le Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS), Innosuisse ou l'Union européenne (UE). Les informations relatives à chaque projet spécifique sont disponibles dans le système d'information public de la Confédération (www.aramis.admin.ch), du FNS (data.fns.ch) et de l'UE (cordis.europa.eu), ainsi que sur le

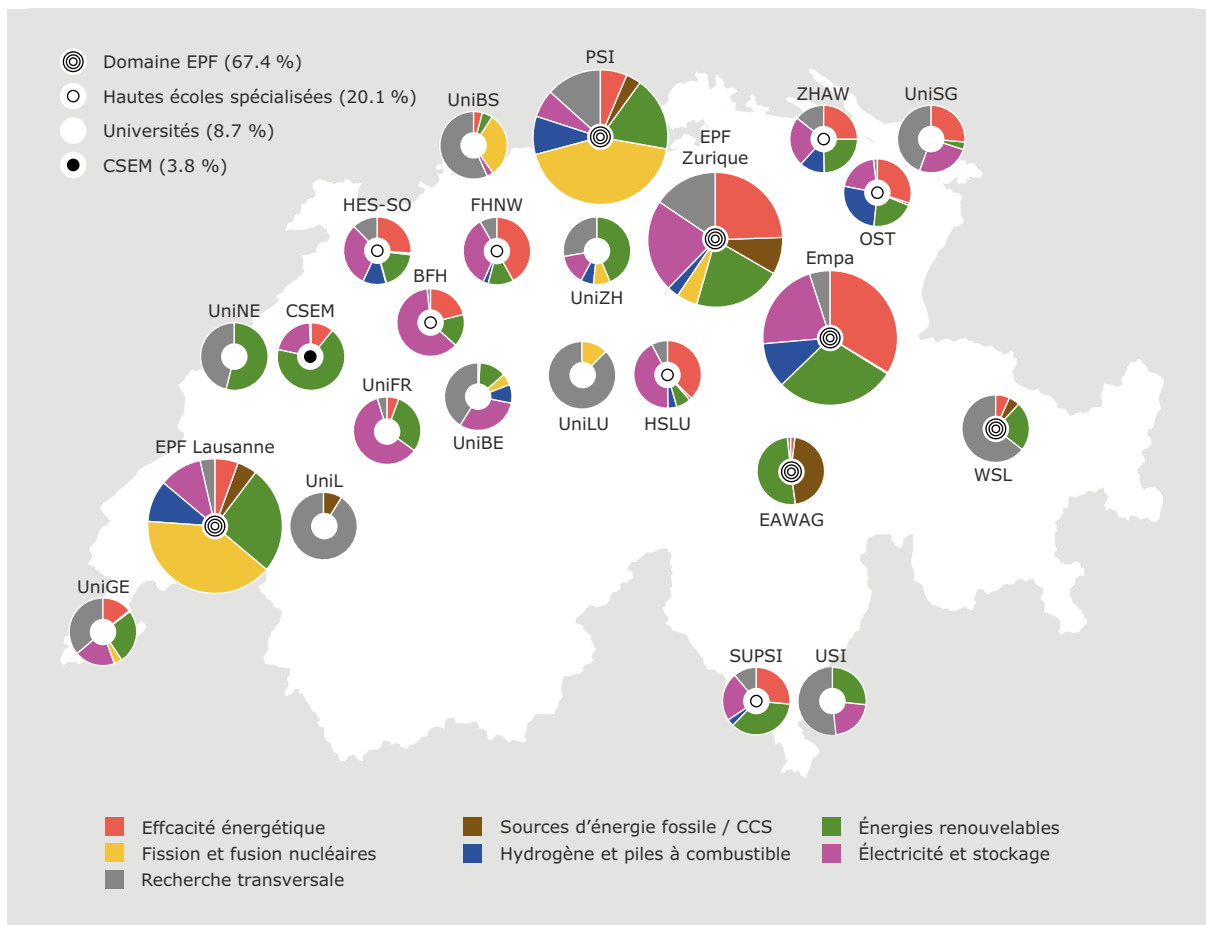
site internet des institutions concernées. En 2023, les dépenses publiques pour la recherche énergétique en Suisse se sont élevées à 405.6 millions de francs. Avec environ 39.5 %, le domaine des EPF a apporté la plus grande part. Après les cantons et le SEFRI (11.8 % chacun), l'OFEN a pris la quatrième place avec 11.5 %. Sur les 36.6 millions de francs dépensés par l'OFEN, environ 12.4 millions de francs sont allés à des projets d'efficacité énergétique, 12.5 millions de francs à des projets d'énergies renouvelables et 11.3 millions de francs à des projets dans le domaine des sciences humaines et sociales.



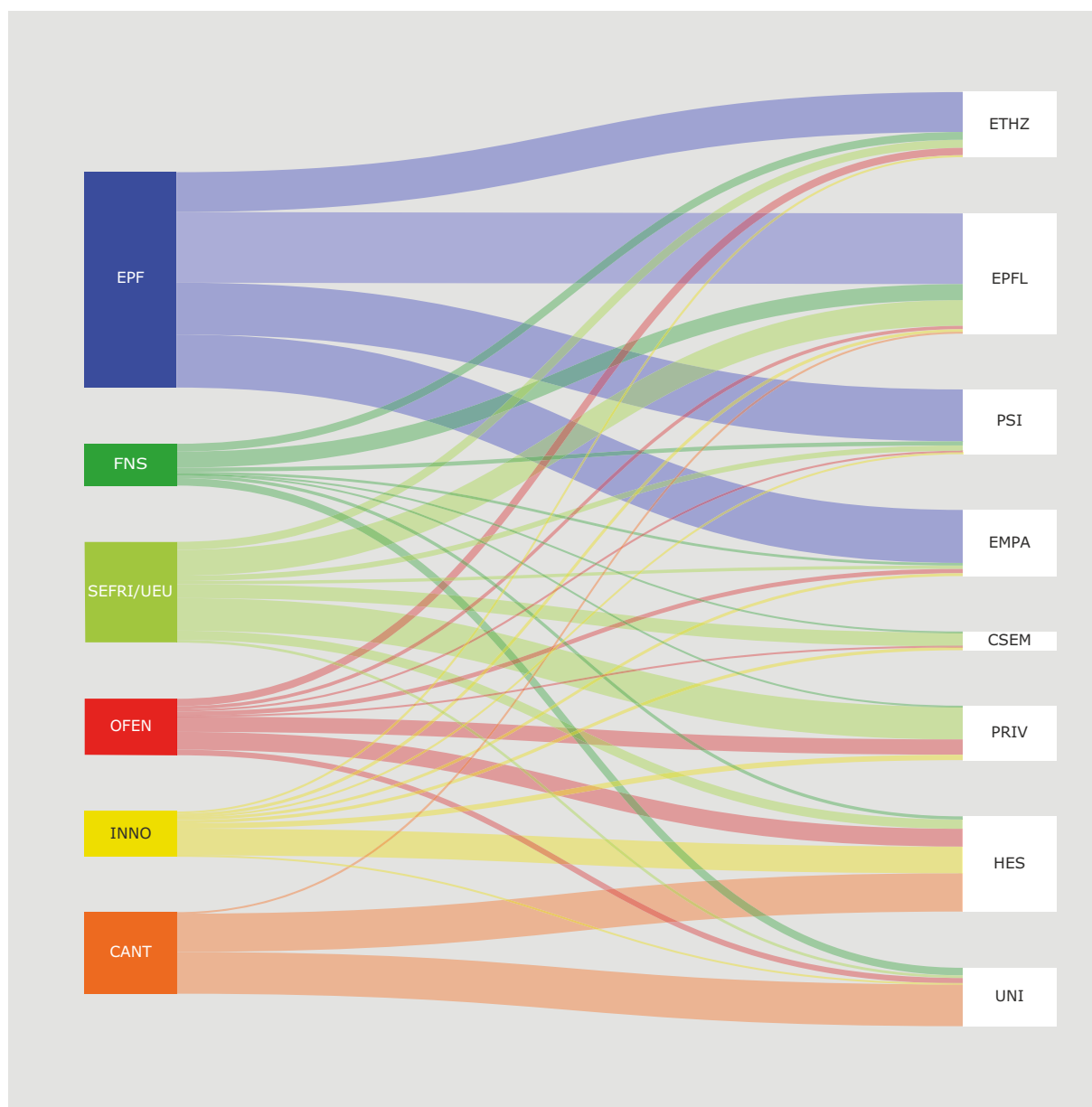
Fonds publics consacrés à la recherche énergétique en Suisse (à gauche) et dans 29 pays membres de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) (à droite). Pour la Suisse, ces dépenses se situent dans une fourchette de 0.4 à 0.58 pour mille du produit intérieur brut. Les fonds sont répartis selon la classification de l'AIE (source : OFEN).



Financement public de la recherche sur l'énergie (données 2023) par agence de financement et par domaine thématique. Environ 40 % du financement de la recherche énergétique en Suisse provient directement du domaine des EPF, et environ 12 % du financement cantonal des hautes écoles spécialisées et des universités. Le reste est un financement compétitif. EPF : Conseil des écoles polytechniques fédérales, FNS : Fonds national suisse de la recherche scientifique, Innosuisse : Agence suisse pour la promotion de l'innovation, OFEN : Office fédéral de l'énergie, UE : Union européenne, SEFRI : Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation (source : OFEN).



Différents thèmes de recherche sur l'énergie dans les universités suisses (données 2023) : Les thèmes sont répartis selon la classification de l'Agence internationale de l'énergie (IEA). La majeure partie de la recherche publique sur l'énergie (71 % des fonds publics utilisés) a lieu dans le domaine des EPF. BFH : Haute école spécialisée bernoise, CSEM : Centre suisse d'électronique et de microtechnique, EMPA : Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, EPFL : École polytechnique fédérale de Lausanne, EPFZ : École polytechnique fédérale de Zurich, FHNW : Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse, FHO : Haute école spécialisée de la Suisse orientale, FHZ : Haute école spécialisée de Suisse centrale, HES-SO : Haute école spécialisée de Suisse occidentale, PSI : Institut Paul Scherrer, SUPSI : Haute école spécialisée de la Suisse italienne, UniBE : Université de Berne, UniBS : Université de Bâle, UniFR : Université de Fribourg, UniGE : Université de Genève, UniLS : Université de Lausanne, UniLU : Université de Lucerne, UniNE : Université de Neuchâtel, UniSG : Université de St. Gallen, UniZH : Université de Zurich, USI : Université de la Suisse italienne, ZFH : Université des sciences appliquées de Zurich (source : OFEN).



D'où vient le financement public pour la recherche énergétique en Suisse et où va-t-il? Une grande partie provient directement du domaine des EPF. Ne sont pas pris en compte les fonds provenant de sources privées, tels que les contributions propres aux projets Innosuisse ou aux projets pilotes et de démonstration de l'OFEN. Les flux de trésorerie inférieurs à 0.2 million de francs suisses ne sont pas indiqués.

Source des fonds : EPF : Conseil des EPF, FNS : Fonds national suisse de la recherche scientifique, SEFRI/UE : fonds provenant de projets européens ou du SEFRI (Secrétariat d'Etat à la formation, à la recherche et à l'innovation), OFEN : Office fédéral de l'énergie, INNO : Innosuisse, CANT : cantons.

Utilisation des fonds : PSI : Institut Paul Scherrer, EMPA : Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, EPFZ : EPF de Zurich, EPFL : EPF de Lausanne, PRIV : Secteur privé, CSEM : Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique, UNI : Universités, HES : Hautes écoles spécialisées.



(À gauche) La valorisation thermique classique de ces boues de papier ne permet d'exploiter qu'une partie de leur potentiel énergétique (source : Alex Treichler).

(À droite) Voici à quoi ressemble le biocharbon déshydraté généré à partir de boues de papier. Il est facile à stocker et peut être utilisé, par exemple, sur place pour produire de la chaleur à haute température (source : Alex Treichler).

Valorisation optimale des résidus issus de la biomasse

Lorsque les résidus humides issus de la biomasse sont valorisés thermiquement dans l'industrie, une partie de leur potentiel énergétique reste souvent inexploitée. Un nouveau procédé en trois étapes permet désormais d'exploiter ce potentiel. Les entreprises industrielles sont ainsi moins dépendantes des énergies fossiles et réduisent leurs émissions de CO₂.

Dans les entreprises telles que les brasseries, les laiteries et les boucheries, ou encore dans la production de papier, les résidus sont souvent constitués de biomasse, c'est-à-dire de matières issues de la croissance ou de la décomposition naturelles. Ces résidus, souvent mélangés à de l'eau, sont généralement valorisés thermiquement pour produire de la chaleur destinée à des processus industriels. Cependant, leur potentiel n'est pas exploité de manière optimale, car la teneur en eau réduit le rendement énergétique.

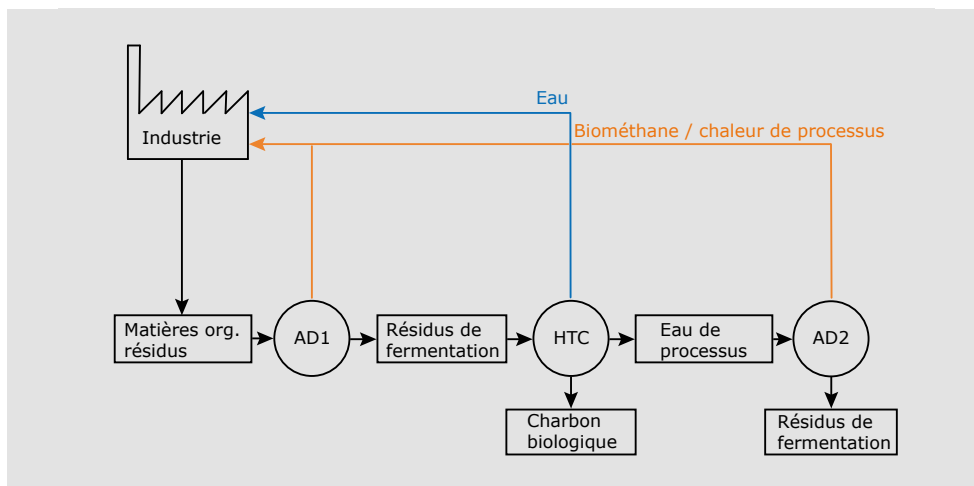
Utilisation en cascade en trois étapes

Dans le cadre d'une collaboration internationale, des chercheurs suisses ont développé un concept novateur qui permet de valoriser de manière optimale la biomasse humide grâce à un processus en trois étapes.

- Dans un premier temps, les résidus sont transformés en biométhane par fermentation. Il reste alors des résidus de fermentation.

- Dans un deuxième temps, ces résidus sont chauffés à une température comprise entre 180 et 250 °C sous haute pression. Ce processus, appelé « carbonisation hydrothermique » (HTC), transforme la majeure partie du carbone restant en biocharbon solide. Il ne reste alors que de l'eau de traitement
- Dans un troisième temps, le carbone restant dans l'eau de traitement est à nouveau fermenté et également transformé en biométhane.





Dans le nouveau procédé en trois étapes, les résidus organiques sont d'abord fermentés (AD = anaérobic digestion, fermentation anaérobie), ce qui produit du biométhane. Les résidus de fermentation sont chauffés sous haute pression (HTC = hydrothermal carbonization, carbonisation hydrothermique). Il en résulte du biocharbon et de l'eau de process. Cette dernière est à nouveau fermentée dans l'étape 3, afin de pouvoir également extraire du biométhane du carbone restant. (source : Alex Treichler).

Le biométhane et le biochar produit par ce procédé sont des sources d'énergie neutres en CO₂ qui peuvent être facilement stockées ou utilisées directement sur place pour produire de la chaleur industrielle. Le biochar étant nettement plus facile à déshydrater que la biomasse résiduelle humide et le carbone étant en grande partie valorisé, le rendement énergétique est accru. Il est donc nécessaire d'utiliser moins de combustibles fossiles (pétrole, gaz naturel) pour produire de la chaleur, ce qui réduit les émissions de CO₂.

Exemple d'application dans une usine de papier

C'est également l'objectif poursuivi par TELA GmbH, une papeterie située à Niederbipp, dans le canton de Berne. Elle fabrique du papier hygiénique, des mouchoirs et des essuie-tout et exploite également l'une des plus grandes installations de traitement des déchets de papier de Suisse. Afin de rendre ces processus plus respectueux du climat, la papeterie a mis à disposition des résidus de biomasse et des données pour un projet de recherche soutenu par l'Office fédéral de l'énergie. Le concept de procédé en trois étapes a ainsi pu être testé en laboratoire.

La biomasse résiduelle produite dans l'usine est constituée, par exemple, de boues de papier et d'épuration. Jusqu'à présent, celles-ci étaient soumises à un processus de déshydratation coûteux, puis brûlées dans un four interne pour produire de la vapeur. Cela nécessitait toutefois l'ajout de combustibles supplémentaires sous forme de bois énergie et de résidus plastiques issus du recyclage du papier.

Réduire les émissions

Le projet a permis de tester l'efficacité du concept de traitement en trois étapes pour valoriser la biomasse résiduelle de la papeterie. Les résultats sont positifs. Ils montrent que le concept fonctionne et que TELA GmbH peut ainsi réduire considérablement ses émissions de CO₂ issues des énergies fossiles. Dans le meilleur des cas, selon un modèle de calcul, près de 13 000 MWh supplémentaires pourraient être produits chaque année, ce qui correspond à près de 7 % des besoins énergétiques annuels de l'usine. Les émissions de CO₂ seraient ainsi réduites d'environ 3000 tonnes par an. Une étude est désormais prévue afin d'évaluer la rentabilité du concept dans la pratique.

Remo Bürgi, Faktor Journalisten AG



Dans ce fermenteur d'une capacité de 60 l, l'eau de traitement a été fermentée et le carbone qu'elle contenait a été transformé en biométhane.



En 2023, un premier forage d'exploration a été réalisé sur le site de l'aéroport de Zurich. Il a confirmé la présence de couches de gravier aquifères à la base du chenal glaciaire (source : Geo Explorers AG).

Des chenaux glaciaires comme réservoir d'énergie

En Suisse, il existe de nombreux chenaux souterrains creusés par les glaciers et remplis de roches meubles et d'eau souterraine. Ils permettent de stocker la chaleur et le froid, par exemple pour alimenter l'aéroport de Zurich en énergie de manière écologique.

Le Plateau suisse a été fortement marqué par la glaciation pendant les périodes glaciaires. Les puissantes coulées de glace ont non seulement modifié la surface, mais ont également laissé des traces dans le sous-sol. Ainsi, les écoulements d'eau de fonte ont créé de nombreux chenaux souterrains, longs et profonds, dont certains atteignent plus de 300 mètres. Après la fonte des glaciers, ces chenaux se sont remplis de roches meubles et d'eau souterraine. En raison de leur forme de baignoire, les experts supposent que l'eau souterraine dans les chenaux est presque stagnante. On peut l'imaginer comme un lac souterrain isolé des autres plans d'eau.

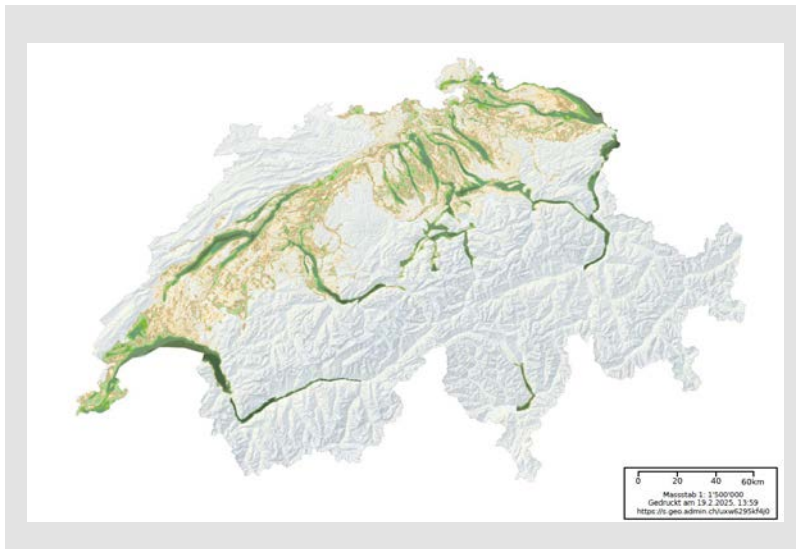
Exploiter l'eau grâce à des puits

Ces caractéristiques font des chenaux glaciaires un réservoir optimal pour le chaud et le froid. Le principe de base est le suivant : pendant les mois d'hiver, un puits prélève l'eau qui se trouve à cette profondeur et qui est à peine plus chaude que 20 °C. Cette eau sert de source d'énergie pour une pompe à chaleur qui alimente différents bâtiments ou un réseau de chauffage urbain. L'eau souterraine légèrement refroidie est renvoyée dans le chenal par un autre puits. En été, l'eau souterraine peut être utilisée pour rafraîchir les bâtiments de manière écologique. L'eau pompée absorbe la chaleur excédentaire des bâtiments et la transfère dans les pro-

fondeurs, où elle est libérée dans la nappe phréatique. Cela permet de garantir que sa température reste constante à long terme.

Les tests sont optimistes

On ne sait pas encore si les chenaux datant de la période glaciaire peuvent réellement être utilisés comme réservoirs. Un projet pilote soutenu par l'Office fédéral de l'énergie sur le site de l'aéroport de Zurich vise à changer la donne et à acquérir des connaissances qui pourront être appliquées à des projets similaires. Mais surtout, le réservoir souterrain doit permettre à l'aéroport de disposer d'un système d'approvisionnement en chaleur et en froid respectueux de l'environnement.

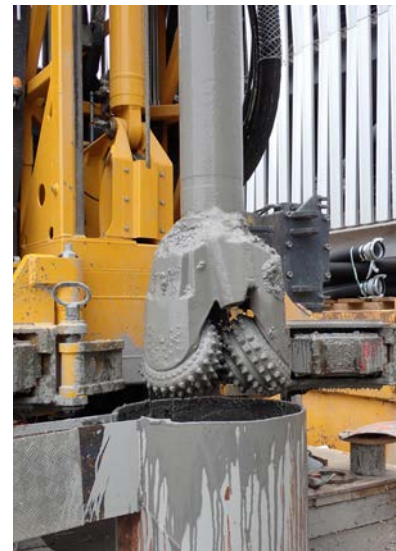


Les bandes vert foncé indiquent la présence de roches meubles, c'est-à-dire de chenaux glaciaires. Selon les estimations, ces chenaux atteignent une longueur totale d'environ 900 km en Suisse et recèlent un fort potentiel pour un approvisionnement énergétique respectueux de l'environnement (source : map.geo.admin.ch).

Après différentes mesures géophysiques, trois forages d'exploration ont été effectués au cours de l'été 2023 le long du centre de la tranchée. Ces forages, d'une profondeur de près de 350 mètres, ont été couronnés de succès et ont permis de passer à l'étape suivante : le forage d'un puits d'essai à l'été 2024. Celui-ci a permis d'effectuer des analyses et des

mesures plus détaillées de la roche et des eaux souterraines.

Les résultats sont encourageants et permettent d'envisager l'utilisation du chenal glaciaire comme réservoirs de chaleur et de froid. Un deuxième puits d'essai sera donc foré au cours de l'été 2025 afin de tester le cycle complet avec prélèvement et restitution. Les connais-

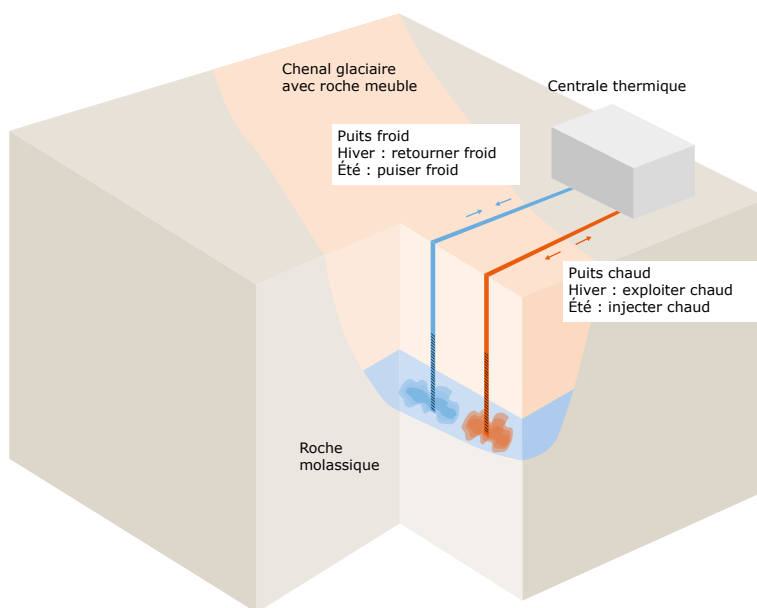


À partir d'une profondeur de forage de 34 m, on a utilisé un engin de forage à boue avec un trépan à molettes comme tête de forage (source : Geo Explorers AG).

sances acquises permettront de tirer des conclusions fiables sur le rendement et la rentabilité. Si les résultats sont concluants, les spécialistes pourront s'appuyer sur ces informations pour élaborer un concept d'exploitation concret et demander une concession au canton.

Un potentiel élevé

Si les autres études se déroulent comme prévu, plusieurs puits seront forés dans le chenal dans le cadre du projet principal afin de prélever l'eau et de la restituer. Le nombre de puits nécessaires à une exploitation optimale et leur emplacement exact restent à déterminer. Le projet pilote montre toutefois que le potentiel présumé des chenaux glaciaires en tant que réservoirs de chaleur et de froid est probablement exploitable dans la pratique. Par rapport à d'autres structures géologiques, les chenaux sont plus faciles à localiser et à exploiter, ce qui réduit les coûts et les obstacles techniques. Le projet de l'aéroport de Zurich ne devrait donc pas être le dernier à utiliser un chenal glaciaire comme réservoir d'énergie.



Pour utiliser l'eau souterraine d'un chenal glaciaire comme accumulateur de chaleur et de froid, on creuse au moins deux puits. En hiver, on puise l'eau souterraine dans le puits chaud et on la renvoie légèrement refroidie par le puits froid. En été, le processus fonctionne dans l'autre sens : l'eau souterraine du puits froid retourne dans le sous-sol par le puits chaud, légèrement réchauffée (source : Faktor Verlag / Geo Explorers AG).

Remo Bürgi, Faktor Journalisten AG





Le remplacement des compteurs électriques analogiques par des compteurs intelligents numériques est une condition préalable importante pour éviter les pics de charge (source : EWA-energieUri).

Le système électrique du futur récompense la flexibilité

Lorsque de nombreux gros consommateurs tels que les chaudières, les pompes à chaleur et les stations de recharge consomment de l'électricité en même temps, des pics de charge apparaissent. Ceux-ci sont coûteux pour les gestionnaires de réseau et constituent un défi technique. Divers projets étudient comment les éviter grâce à des incitations innovantes.

À l'avenir, l'électricité renouvelable remplacera les énergies fossiles pour alimenter nos voitures et chauffer nos maisons. Cette transformation nécessitera davantage d'électricité, en particulier pour les pompes à chaleur et les stations de recharge. Le problème est que ces gros consommateurs fonctionnent souvent simultanément, ce qui sollicite fortement le réseau électrique local – on parle alors de pics de charge. Plus le nombre de pompes à chaleur et de stations de recharge augmente dans une région, plus les pics de charge risquent d'être importants. Ces pics, associés à l'augmentation de l'alimentation locale en élec-

tricité solaire, sont doublement coûteux pour les gestionnaires de réseaux de distribution, souvent de petites centrales électriques, car ils doivent payer des contributions plus élevées aux gestionnaires de réseaux interrégionaux et, dans certains cas, développer leur propre infrastructure. Ce sont finalement les clients finaux qui en supportent les coûts. La bonne nouvelle, c'est qu'ils peuvent eux-mêmes contribuer à retarder et à réduire cette expansion par leur comportement.

Échelonner la consommation

Le moyen le plus simple d'éviter les pics de charge indésirables

est que les gros consommateurs consomment l'électricité de manière échelonnée plutôt que simultanément. Dans la plupart des cas, les pompes à chaleur et les stations de recharge peuvent être mises en marche un peu plus tôt ou un peu plus tard sans problème – la maison reste chaude et la batterie de la voiture électrique est rechargée à temps. Toutefois, les consommateurs finaux ont besoin d'une incitation pour accorder cette flexibilité et adopter un comportement « favorable au réseau », comme on dit dans le jargon technique. Les tarifs d'utilisation dynamique du réseau (voir encadré) constituent une possi-

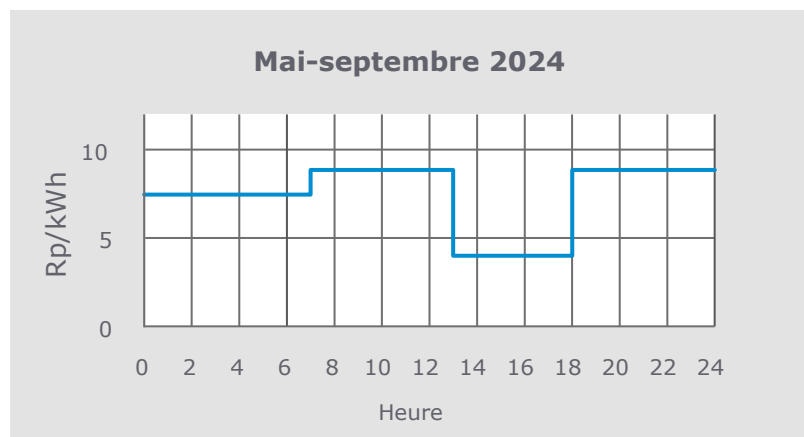


bilité. Cela signifie, par exemple, que le tarif dépend de la production d'électricité et de la demande actuelles dans la zone de réseau concernée. En d'autres termes, l'électricité est bon marché lorsqu'elle est disponible en grande quantité et que la consommation est faible. En revanche, lorsque l'électricité est rare et/ou que la consommation est élevée, le prix augmente. Cette différenciation des prix incite les clients finaux à utiliser les appareils gourmands en électricité lorsque le tarif d'utilisation du réseau est bas.

Contrôle direct ou indirect

Du point de vue des gestionnaires de réseau, une telle régulation de la consommation d'électricité, appelée « gestion de la charge », peut être indirecte ou directe. Indirecte signifie que les clients finaux décident eux-mêmes s'ils souhaitent adapter leur consommation et à quel moment. À l'aide d'un système de gestion de l'énergie (EMS), ils peuvent réagir automatiquement aux tarifs dynamiques. Ce modèle devrait être mieux accepté par les clients finaux, car ils gardent le contrôle. L'inconvénient pour l'exploitant du réseau est qu'il n'a aucune influence directe et ne peut que partiellement prévoir le comportement des clients finaux en termes de service au réseau.

L'alternative consiste pour l'exploitant du réseau à contrôler directement les gros consommateurs chez les clients finaux. Cela permet d'éviter de manière fiable les pics de charge. Cependant, les clients finaux doivent d'abord être convaincus de déléguer le fonctionnement de leurs appareils. De plus, le contrôle direct des charges nécessite une connexion permanente, ce qui est techniquement complexe. Et les clients doivent être indemnisés pour la flexibilité dont ils font preuve et pour laisser le contrôle à l'exploitant du



Le tarif statique issu du projet pilote de Winkel reste le même pendant plusieurs mois. Il est basé sur les valeurs moyennes horaires de l'utilisation du réseau sur plusieurs années et ne réagit donc pas aux évolutions actuelles (source : EKZ, édité).

réseau. Tout cela fait du contrôle direct de la charge une méthode relativement coûteuse.

Les différentes formes d'incitation et de contrôle ne s'excluent pas mutuellement, mais peuvent être utilisées simultanément. Les gestionnaires de réseau peuvent ainsi répondre aux attentes et aux besoins de différents groupes de clients.

Tester les tarifs

Des approches innovantes sont actuellement testées dans la pratique dans le cadre de différents projets soutenus par l'Office fédéral de l'énergie. Pour les clients finaux de la commune zurichoise de Winkel, par exemple, trois tarifs d'utilisation du réseau ont été élaborés, puis testés afin de déterminer dans quelle mesure ils permettent d'éviter les pics de charge.

- Le tarif statique comporte trois niveaux de prix fixes. Ceux-ci sont basés sur les valeurs moyennes horaires de l'utilisation du réseau sur plusieurs années. Le niveau de prix le plus bas s'applique par exemple en été, l'après-midi, car l'énergie solaire est alors disponible en grande quantité et la charge est faible. Le tarif statique a un effet indirect, les clients gèrent eux-mêmes leur

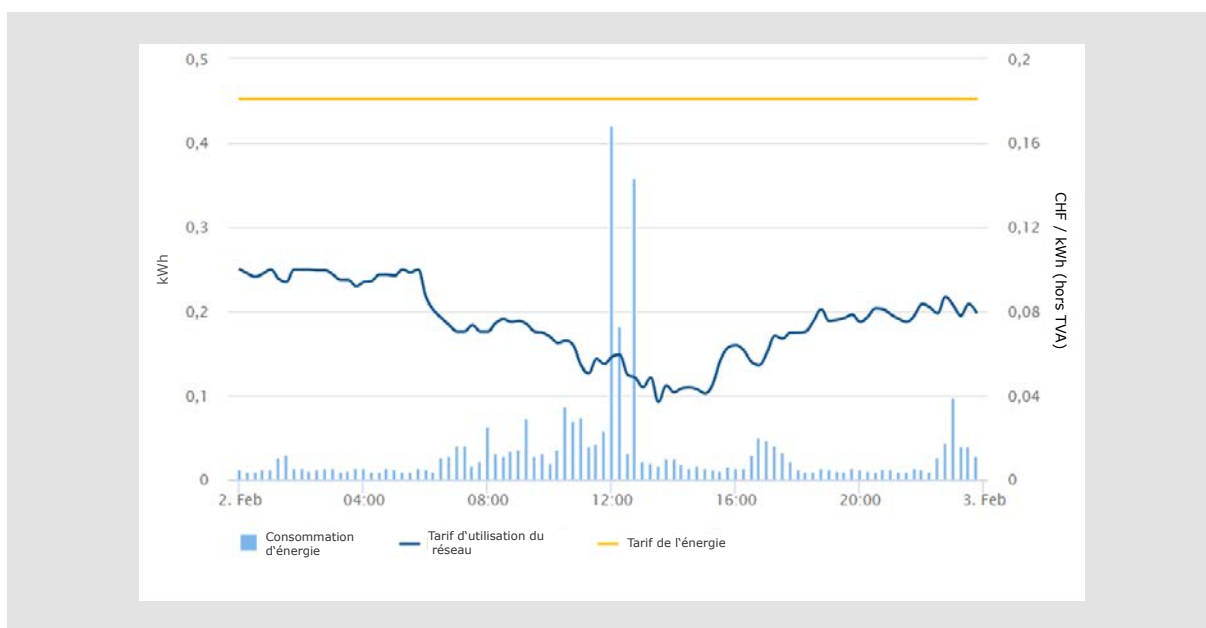
consommation, notamment à l'aide d'un EMS.

- Le tarif dynamique fonctionne sur la base de la demande et de l'offre actuelles. Il est communiqué 15 minutes à l'avance pour une période de 15 minutes. Ce tarif a également un effet indirect, les clients gèrent eux-mêmes leur consommation, notamment à l'aide d'un EMS.
- Le tarif unique renonce aux incitations sous forme de prix variables, mais en contrepartie, le gestionnaire de réseau peut contrôler directement les consommateurs finaux moyennant une rémunération.

Le prix de l'électricité

En Suisse, le prix de l'électricité se compose de quatre éléments : le tarif de l'énergie (qui représentera en moyenne 47 % du prix de l'électricité pour les ménages en 2025), le tarif d'utilisation du réseau (41,5 %), les redevances versées aux cantons et aux communes (3,5 %) et le supplément pour le réseau (8 %). Si un gestionnaire de réseau de distribution souhaite inciter ses clients finaux à éviter les pics de charge, il le fait généralement via le tarif d'utilisation du réseau. Celui-ci comprend les coûts d'utilisation du réseau de transport et de distribution ainsi que les services système nécessaires à la stabilité du réseau électrique. Si un client final offre une certaine flexibilité, il s'agit d'un service système pour lequel il bénéficie d'une réduction sur le tarif d'utilisation du réseau ou d'un crédit.





Le tarif dynamique issu du projet pilote de Winkel est défini sur la base de la demande et de l'offre actuelles pour un quart d'heure et communiqué aux clients finaux 15 minutes à l'avance (source : EKZ, édition).

Les résultats obtenus jusqu'à présent montrent qu'en été, le tarif dynamique et le tarif unique sont les plus efficaces pour éviter les pics d'injection (excédent d'électricité solaire). En hiver, en

revanche, où il s'agit principalement d'éviter les pics de charge, il est possible de se passer de contrôle et d'incitations. La raison : les pics de charge sont déjà assez bien répartis. Toutefois, selon les

responsables du projet, cela pourrait changer à l'avenir si le nombre de voitures électriques à recharger augmente, car celles-ci s'ajoutent aux charges existantes en soirée.



Les gestionnaires de réseau peuvent utiliser leurs propres installations de production d'électricité de manière ciblée pour couvrir les pics de charge sur leur réseau. La photo montre une centrale hydroélectrique des services techniques de Vilters-Wangs, qui ont participé au projet pilote local (source : TB Vilters-Wangs).



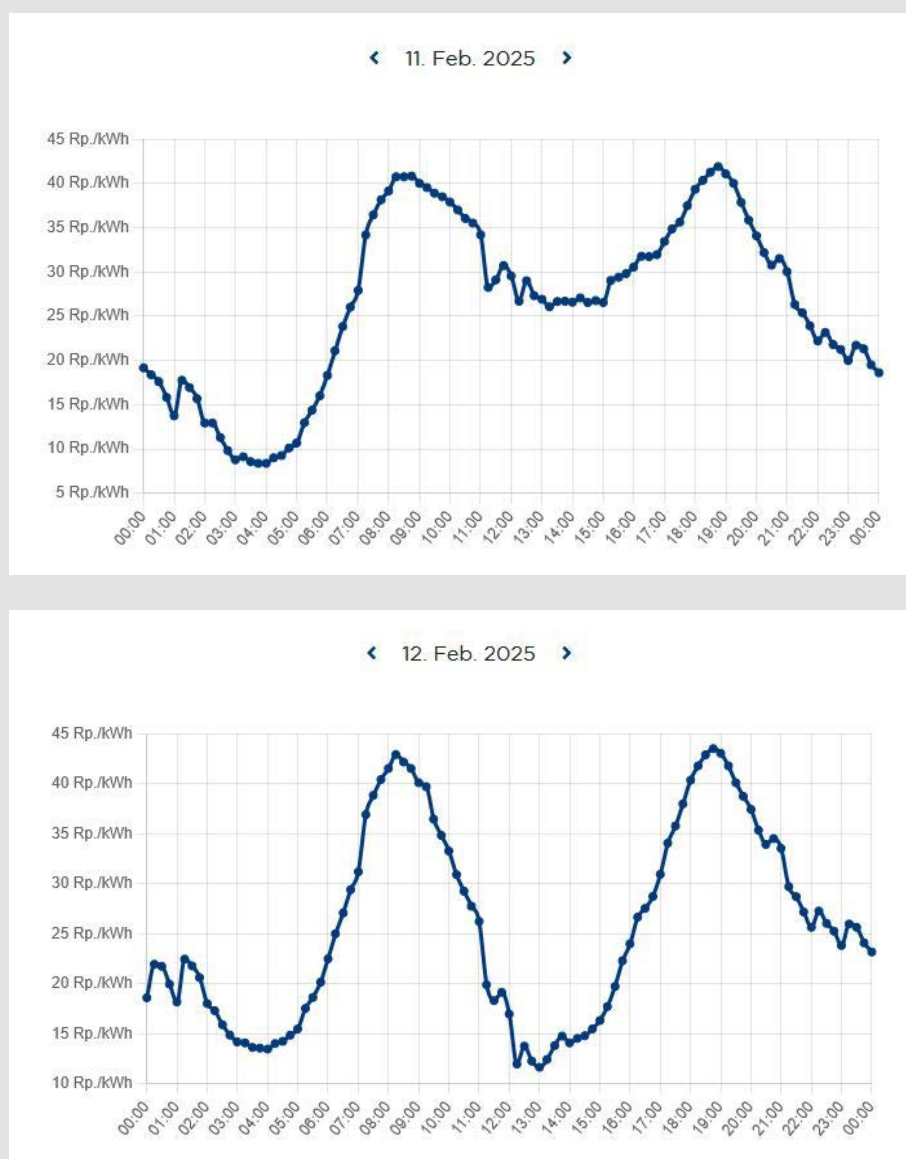
Tarif pour le lendemain

Un autre projet était axé sur le développement et l'introduction du « tarif Vario ». Ce tarif dynamique est calculé pour chaque tranche de 15 minutes du lendemain. Il est basé sur les prévisions de charge du réseau pour ce jour-là, qui combinent la demande et l'offre attendues. Le fournisseur d'énergie communique le tarif

Vario la veille au soir aux clients finaux participants ou à leur EMS. Celui-ci planifie automatiquement le fonctionnement des gros consommateurs de manière à ce que le client paie le moins possible. La mise en œuvre pratique montre que le tarif Vario incite réellement les clients finaux à déplacer leur consommation flexible vers les plages horaires où

le réseau est moins sollicité. À l'instar d'autres modèles, il contribue ainsi à éviter les pics de charge et à réduire les coûts d'extension du réseau.

Remo Bürgi, Faktor Journalisten AG



La comparaison du tarif variable sur deux jours d'hiver consécutifs montre une différence notable en début d'après-midi. Cela s'explique par les prévisions météorologiques : de la pluie était annoncée pour le 11 février et un temps sec pour le 12 février. On pouvait donc s'attendre à un rendement plus élevé des installations photovoltaïques le 12 février et proposer ainsi des prix plus bas (source : captures d'écran www.groupe-e.ch du 12 février 2025)).





Grâce aux données des smart meters et à l'intelligence artificielle, les fournisseurs d'électricité peuvent informer leurs clients de manière ciblée sur les économies potentielles (source : EKZ).

Détecter les pompes à chaleur inefficaces grâce à l'IA

De nombreuses pompes à chaleur consomment plus d'énergie que nécessaire. Souvent, les valeurs de consigne sont trop élevées et leur fonctionnement n'est guère optimisé. Sur la base des données fournies par des smart meters, l'EPF Zurich a développé des algorithmes qui détectent les pompes à chaleur inefficaces. Les fournisseurs d'énergie peuvent ainsi informer leurs clients de manière ciblée sur leur potentiel d'économies.

Un bâtiment sur cinq en Suisse est équipé d'une pompe à chaleur. Elles remplacent les générateurs de chaleur fossiles et contribuent de manière décisive à la décarbonisation du parc immobilier. Mais les pompes à chaleur augmentent également la demande en énergie électrique. Il est donc important de les exploiter efficacement. En raison du nombre croissant de types de pompes à chaleur et de leur interconnexion avec des composants tels que les installations photovoltaïques, la planification, l'installation et l'exploitation des systèmes sont de plus en plus complexes. Cela se traduit souvent par des réglages inadaptés qui permettent certes d'atteindre

le confort thermique souhaité, mais dont le mode de fonctionnement est inefficace.

Les réglages incorrects passent inaperçus

Une évaluation de 410 consultations énergétiques réalisées par les services électriques du canton de Zurich (EKZ) a mis en évidence les problèmes typiques : dans 41 % des ménages, la courbe de chauffage, qui régule la température de départ en fonction de la température extérieure, était réglée trop haut. Dans 36 % des cas, la réduction nocturne activée augmentait la consommation d'énergie, contrairement à l'effet escompté. Dans 26 % des cas, la limite à par-

tir de laquelle le chauffage se met en marche était plus élevée que nécessaire. Même après des améliorations énergétiques de l'enveloppe du bâtiment, la régulation de la pompe à chaleur n'est souvent pas adaptée. Les exploitants de bâtiments ne remarquent souvent pas ces réglages incorrects.

Les données des smart meters, la clé de l'optimisation

Le projet « KI in der Wärmepumpenberatung (IA dans le conseil en pompes à chaleur) », financé par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et qui s'achèvera au printemps 2024, vise à remédier à ces problèmes. En collaboration avec EKZ, Enerlytica (ancienne-



Problème/mauvaise régle	Fréquence relative *	Fréquence absolue
Courbe de chauffage réglée trop haut	40.98 %	168
Réduction nocturne activée par erreur	36.10 %	148
Limite de chauffage réglée trop haut	25.61 %	105
Détartrage de l'eau chaude sanitaire nécessaire	17.80 %	73
Installation d'expansion mal réglée	13.41 %	55
Problèmes de circulation d'air des pompes à chaleur à air	11.25 %	27
Pompe à chaleur mal dimensionnée	10.00 %	41
Conduites mal isolées	9.02 %	37
Température de l'eau chaude sanitaire mal réglée	7.80 %	32
Pression de saumure incorrecte sur la pompe à chaleur géothermique	7.19 %	12
Réglage incorrect de la pompe de circulation	6.34 %	26
Température de la sonde géothermique trop basse sur la pompe à chaleur géothermique	5.99 %	10
Installation de vannes thermostatiques recommandée pour la régulation individuelle des pièces	4.88 %	20
Pompe à chaleur encrassée	3.17 %	13
Pompe à chaleur défectueuse	1.46 %	6
Fonctions de base défectueuses	1.46 %	6

Les fréquences relatives se rapportent à l'ensemble des 410 pompes à chaleur inspectées, à l'exception des problèmes pour lesquels une distinction explicite est faite selon le type de pompe à chaleur. Le nombre de pompes à chaleur à air est de 240 (58.54 %) et celui des pompes à chaleur géothermiques de 167 (40.73 %).

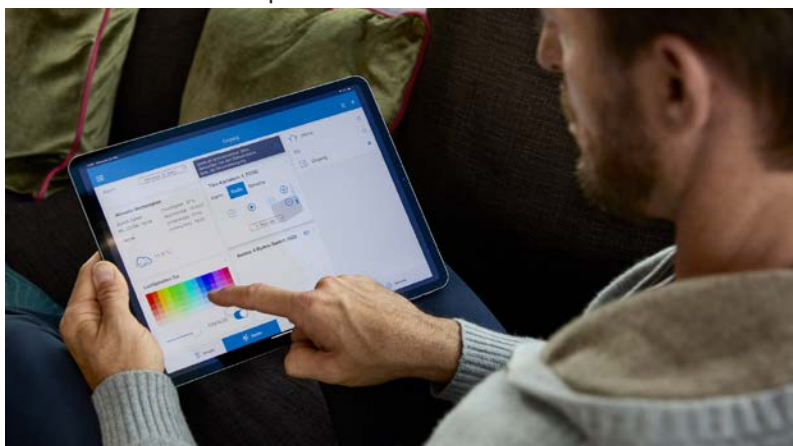
Problèmes et configurations typiques des pompes à chaleur sur la base de 410 rapports de consultation issus d'inspections sur site réalisées par les conseillers en énergie EKZ (source: rapport final KI-WP, édité).

ment BEN Energy AG) et Hoval, des chercheurs du Bits to Energy Lab de l'ETH Zurich ont collecté pendant trois périodes de chauffage des données anonymisées sur la consommation électrique des ménages (appelées données de smart meters) et les ont analysées à l'aide de l'intelligence artificielle (IA). Ils ont développé des algorithmes qui permettent de localiser les installations dont la consommation électrique est trop élevée. Il est ainsi possible d'évaluer la consommation électrique d'une

pompe à chaleur sans connaître en détail son environnement d'exploitation, par exemple en évaluant les heures de fonctionnement ou les mises en marche et arrêts. Les algorithmes détectent également les schémas récurrents de mauvais réglages et les signalent automatiquement aux fournisseurs d'électricité. Ceux-ci peuvent ainsi estimer les économies réalisables et informer de manière ciblée les ménages présentant un potentiel d'optimisation.

Un conseil rapidement rentable

La comparaison des données des smart meters avant et après l'optimisation a montré combien d'électricité pouvait être économisée. Environ la moitié des 297 ménages participant à l'analyse ont pu économiser en moyenne 1805 kWh (15.2 %) d'énergie électrique par an après l'optimisation. Avec un prix de l'électricité de 32.14 centimes par kilowattheure, cela correspond à une économie annuelle de 580 francs pour un ménage. Si l'on part d'un prix de 400 francs pour un conseil en énergie, l'optimisation est souvent rentabilisée dès la première période de chauffage. Les algorithmes « open source » développés dans le cadre du projet sont également à la disposition d'autres utilisateurs. Les fournisseurs d'énergie ont ainsi la possibilité de mettre à la disposition de leurs clients les informations correspondantes via leurs portails clients dans le but d'augmenter l'efficacité des pompes à chaleur.



Aujourd'hui déjà, de nombreux fournisseurs d'énergie mettent à la disposition de leurs clients leurs données de consommation individuelles via des portails clients. Cette transparence doit contribuer à réduire la consommation d'énergie et les coûts (source : EKZ).

Sandra Aeberhard, Faktor Journalisten AG

Autoroutes électriques alternatives

L'extension des réseaux électriques risque de se heurter à une forte opposition lorsqu'elle touche des zones densément peuplées ou des paysages sensibles. Les nouvelles technologies de câbles souterrains, qui réduisent les pertes de transmission, sont donc les bienvenues.

Le réseau électrique est déjà très étendu afin d'alimenter tous les clients finaux en énergie. À l'avenir, il devra toutefois absorber des quantités toujours plus importantes d'électricité renouvelable, ce qui ne sera pas possible sans une extension supplémentaire du réseau. Les réseaux de distribution locaux et les réseaux de transport interrégionaux doivent être complétés par de nouvelles lignes et de nouveaux tracés. Mais alors que les niveaux de réseau 4 à 7 dans le domaine de la moyenne et basse tension sont déjà principalement enterrés, on observe une demande croissante pour le transport souterrain de l'électricité dans le domaine de la très haute et haute tension. Notamment comme alternative ou rem-

placement des lignes aériennes dans les paysages sensibles.

Sans perte de puissance

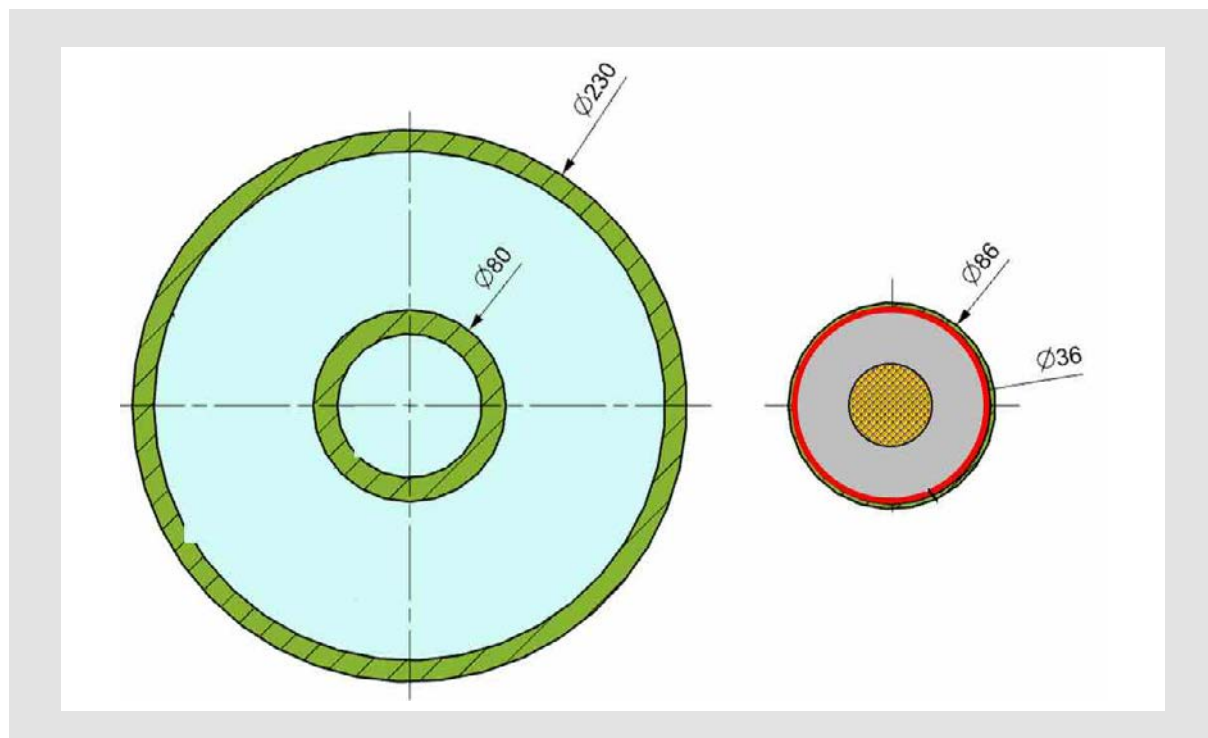
Une nouvelle technologie de câblage souterrain attire désormais l'attention : avec ses systèmes de câbles isolés à l'air comprimé, la start-up suisse « Hivoduct » souhaite élargir le marché des composants de réseau. La jeune entreprise a été soutenue par le programme P+D de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) afin de tester la nouvelle technologie de câblage pendant un an en fonctionnement continu sur un site des CFF. Lorsqu'une solution aérienne n'est pas possible, le câble pneumatique pourrait faciliter l'extension du réseau dans le

domaine de la moyenne et haute tension sans perte de capacité.

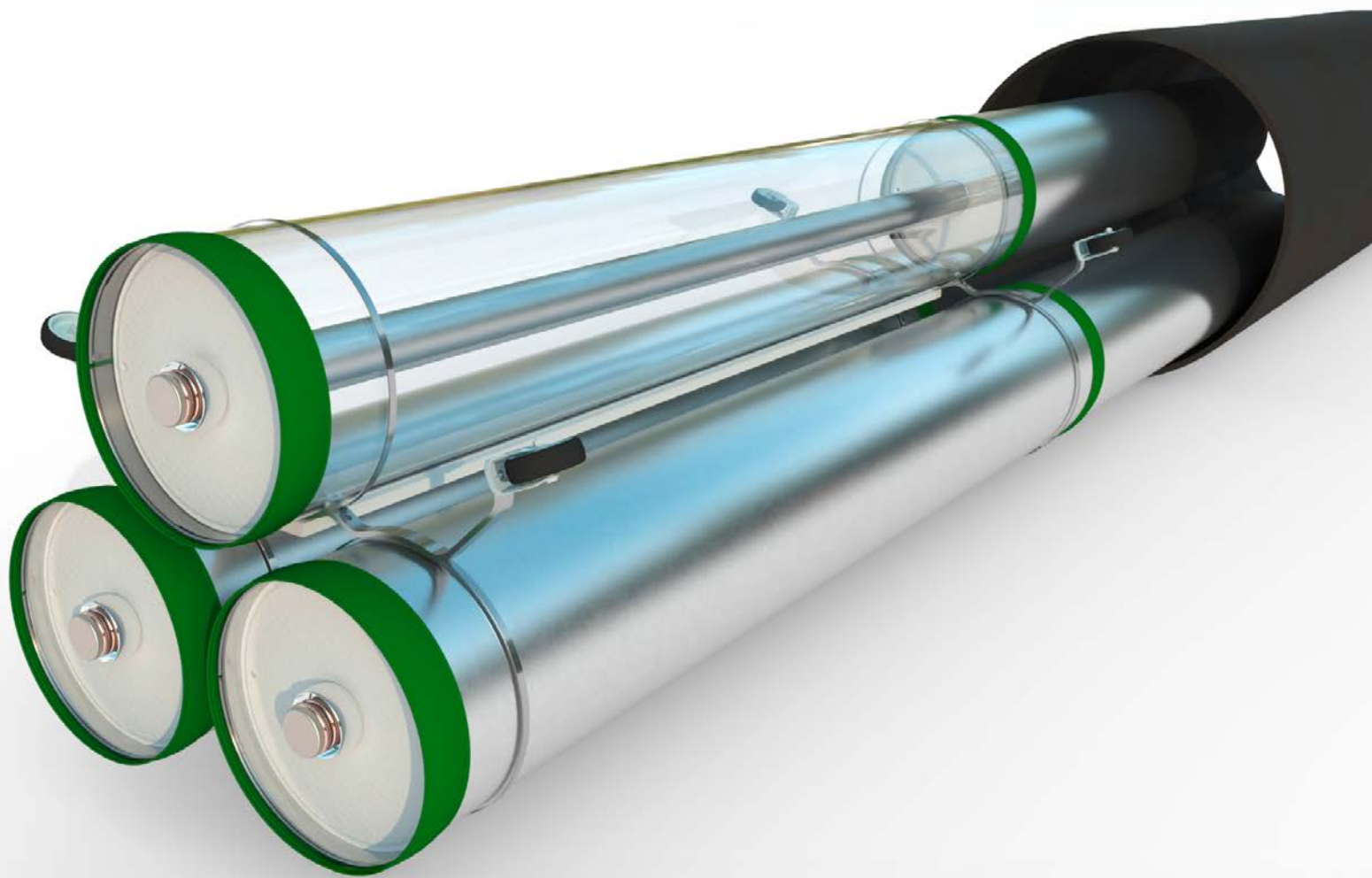
La société nationale pour le réseau Swissgrid s'intéresse notamment à l'utilisation pratique des câbles pneumatiques, car ceux-ci permettent de compenser moins de puissance réactive que les câbles souterrains conventionnels. L'effet escompté est une augmentation de la capacité de transport d'électricité. De plus, les premières commandes pour cette nouvelle technologie de câble ont déjà été enregistrées en Suisse et à l'étranger.

Essais fiables

L'installation pilote subventionnée par l'OFEN, un câble pneumatique d'une tension de 145 kV, a



Comparaison des sections transversales d'un câble pneumatique (à gauche) et d'un câble haute tension conventionnel avec isolation VPE (à droite). La gaine de protection et l'anneau intérieur (vert) du câble à air comprimé sont en aluminium ; dimensions en mm (source : Hivoduct).



Configuration triphasée pour un câble à air comprimé homologué pour le transport d'électricité à une tension de 220 kV. Les câbles sont protégés par un tube en aluminium et enveloppés dans un tube de protection supplémentaire (source : Hivoduct).

été testée dans différentes conditions d'exploitation. L'évaluation des analyses complémentaires a confirmé le succès escompté : l'installation a fonctionné de manière fiable et sans incident pendant un an, et l'enveloppe des câbles est restée étanche. La pression atmosphérique dans la couche isolante est d'environ 10 bars, ce qui correspond, à titre de comparaison, à la pression exercée par une machine à café. Au cours de l'essai d'un an, la pression d'air n'a pas baissé d'un pour cent. Néanmoins, les conduites

pneumatiques sont équipées d'une vanne afin de permettre un remplissage si nécessaire. Le boîtier est un tube en aluminium qui résiste à une pression allant jusqu'à 50 bars. Le conducteur électrique à l'intérieur est également en aluminium.

Les câbles pneumatiques sont nettement plus volumineux que les câbles souterrains classiques. La gaine extérieure en aluminium a un diamètre de plus de 20 centimètres. La cavité remplie d'air comprimé isole aussi bien que le

plastique spécial d'un millimètre d'épaisseur utilisé pour gainer les câbles en cuivre. Une comparaison directe des deux méthodes d'isolation montre en outre que les isolateurs pneumatiques chauffent moins et réduisent les pertes d'énergie lors du transport du courant.

Respect des valeurs limites

Un autre avantage de cette nouvelle variante est que le champ magnétique est plus faible qu'avec un câble souterrain classique, ce qui simplifie l'installation



souterraine et permet de respecter les consignes de sécurité avec moins de moyens supplémentaires. La gaine en aluminium est par ailleurs mise à la terre ; le tube peut être touché sans risque pendant le fonctionnement.

L'échauffement est un critère de test important pour les câbles haute tension, car il indique indirectement la résistance électrique et constitue également une mesure des pertes de conduction. Lors des tests, le boîtier à air comprimé a respecté la valeur limite de 65 °C pour l'essai de type, même en cas de flux de courant très élevé et par temps chaud.

Grâce à ces tests concluants, la start-up a obtenu tous les certificats de sécurité pour la plage de tension allant jusqu'à 145 kV, ce qui lui permet de commercialiser

ce type de câble à air comprimé. Afin de couvrir des puissances de transmission plus élevées, une deuxième installation pilote pour des câbles de 220 kV a entre-temps été testée avec succès.

Systèmes de montage adaptables

Les travaux de recherche ont fourni des informations supplémentaires pour la conception, le montage et la maintenance des installations. Bien qu'un tube individuel ne mesure que cinq mètres de long, les câbles pneumatiques peuvent être assemblés sur plusieurs kilomètres et à différents angles. Un système de roulettes spécial a été inventé à cet effet afin de pouvoir poser trois phases de câbles simultanément. Celui-ci se compose de consoles mobiles permettant d'introduire les câbles pneumatiques côte à côte ou les

uns au-dessus des autres dans un grand tube de protection.

Le montage final a également déjà été testé en partie : en fonction du terrain et des obstacles naturels, le système de tubes peut être configuré de différentes manières et posé dans le sol. Les cours d'eau peuvent être franchis à l'aide d'un procédé de microtunnelage sans tranchée. Au-dessus des prairies et des champs, une tranchée d'un mètre de profondeur suffit pour empiler ou aligner les tubes de câbles.

Essai de type pour 245 kV

L'installation de câbles à air comprimé souterrains est encore plus simple lorsqu'il est possible d'utiliser un tracé souterrain existant. En effet, la Confédération vise à coordonner l'extension du réseau et la planification des transports. Les

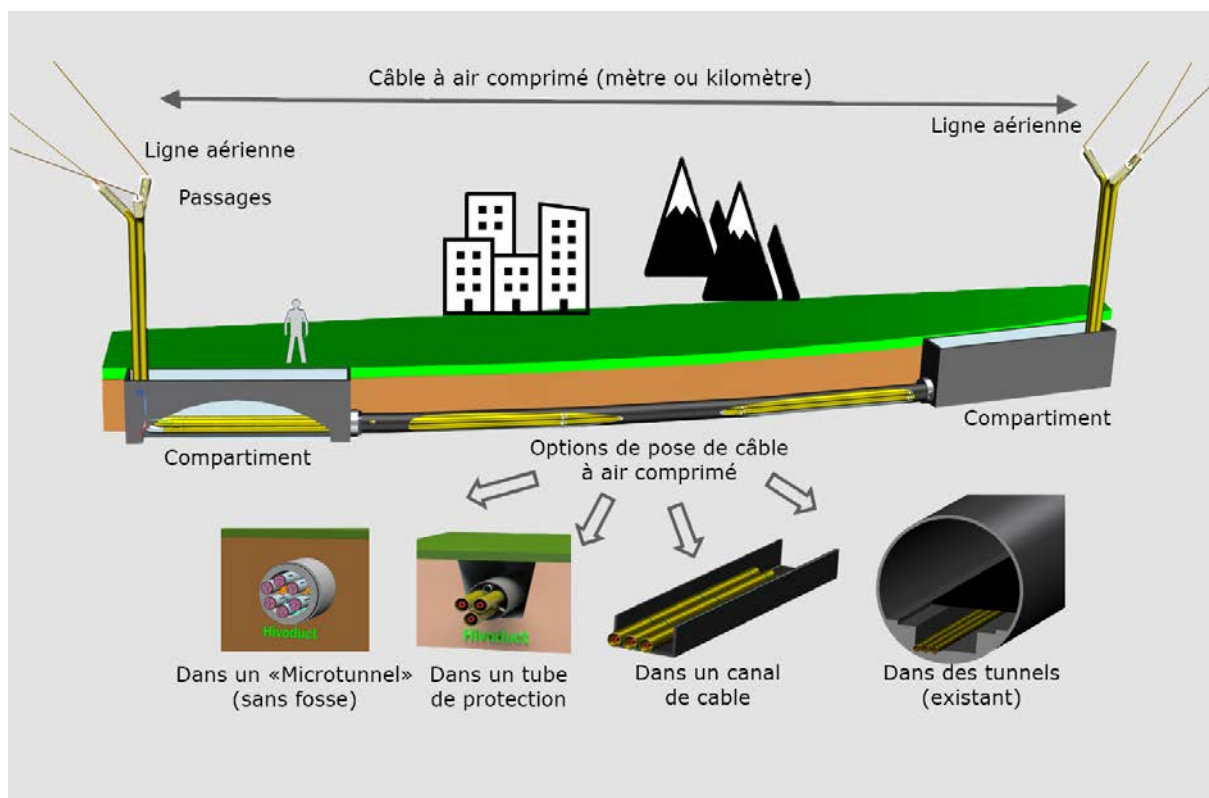


Schéma d'une ligne à haute tension utilisant un câble souterrain comprimé. Différentes méthodes d'installation sont disponibles pour la pose souterraine des câbles (source : Hivoduct, édité).

autoroutes, les voies ferrées et les tunnels doivent pouvoir être équipés d'un canal supplémentaire pour les lignes à haute tension, sous réserve de certaines conditions de sécurité. De tels tubes de réserve seront intégrés pour la première fois lors de la construction du deuxième tube de l'autoroute du Gothard.

Afin de pouvoir utiliser à l'avenir les câbles pneumatiques dans les infrastructures, il a fallu procéder à des essais de type spécifiques. La variante a notamment été testée dans le tunnel de l'Uetliberg, sur le contournement

ouest de Zurich. Un certificat de sécurité pour les câbles Hivoduct dans le domaine de la haute tension (245 kV / 4000) a été délivré entre-temps.

Système durable

Pour que la technologie pneumatique s'impose sur le marché, elle doit toutefois être rentable pour les exploitants de réseaux. Les câbles pneumatiques n'étant pas encore fabriqués en série, les développeurs de projets ne peuvent pour l'instant estimer les coûts que pour des applications individuelles. Cependant, l'installation de câbles souterrains est

généralement plus coûteuse que celle de lignes aériennes. Les coûts supplémentaires spécifiques sont de 1,5 à 10 fois plus élevés.

En revanche, il est d'ores et déjà possible de se prononcer sur la durabilité de cette nouvelle technologie de câbles. Bien qu'elle n'ait été testée que pendant un an, leur durée de vie devrait être de 40 ans. Les câbles pneumatiques seraient donc équivalents aux systèmes de câbles souterrains utilisés jusqu'à présent.

Paul Knüsel, Faktor Journalisten AG



Un système de rouleaux développé en interne est utilisé pour le montage. Les tubes de câbles sont tirés dans le tube de protection à l'aide d'un câble de traction (source : Hivoduct).



Dans le cadre d'ateliers, des idées ont été discutées et des mesures examinées afin de réduire les émissions de CO₂ dans la région (source : Manu Friedrich).

Devenir une région climatiquement neutre

Les communes de l'est de l'Oberland bernois soutiennent activement la protection du climat dans la région depuis plusieurs années. Elles ont été inspirées par un projet de recherche de l'Université de Berne qui visait à favoriser la transition vers une société climatiquement neutre grâce à une approche dite de « transition management ».

La « Conférence régionale de l'Oberland oriental » est un regroupement de 28 communes situées à l'est du lac de Thoue. Au sein de cet organe, elles se concertent sur des questions intercommunales telles que la planification directrice ou le développement régional. Le changement climatique est un autre sujet important, qui se fait clairement sentir dans cette région marquée par le tourisme et l'agriculture, notamment par le recul du pergélisol, la modification des périodes de végétation ou la multiplication des violentes intempéries. La région a donc décidé il y a quelques années de promouvoir activement la protection du climat et a élaboré la stratégie « Région climatiquement neutre de l'Oberland oriental ». L'objectif à long terme est de réduire les émissions de CO₂ dans la région à zéro d'ici 2040. Dans l'est de l'Ober-

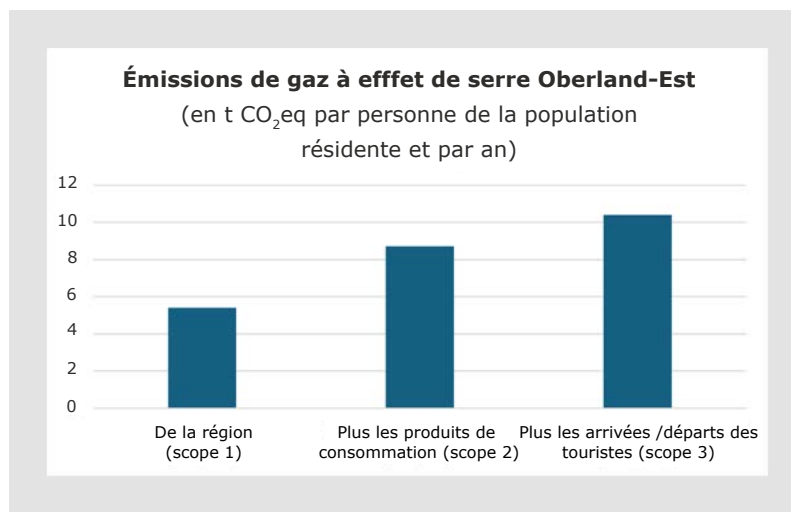
land bernois, outre les ménages, les entreprises et les transports, le tourisme et l'agriculture sont particulièrement responsables des émissions de CO₂. Il fallait donc déterminer si l'accent devait être mis « uniquement » sur les émissions locales ou également sur celles générées par les touristes se rendant dans l'Oberland bernois. Les responsables ont décidé de se concentrer sur les émissions produites directement dans la région, car ils peuvent influencer celles-ci de manière immédiate.

Une approche scientifiquement fondée

La région a été encouragée, soutenue et accompagnée par un projet de recherche de l'Université de Berne et de l'Office de l'environnement et de l'énergie du canton de Berne. Ce projet visait à initier la transition vers une société climati-

quement neutre grâce à un « transition management process ». L'approche repose sur l'implication des acteurs régionaux concernés dans le processus de planification. Cela a été un succès dans l'Oberland bernois : ensemble, ils ont développé une vision pour la région, défini des mesures adaptées aux spécificités locales et se sont eux-mêmes impliqués dans leur mise en œuvre. Le projet a bénéficié du soutien financier de l'Office fédéral de l'énergie, du Service de l'environnement et de l'énergie du canton de Berne et de la Wyss Academy for Nature de l'Université de Berne. Quatre ateliers ont été au cœur du processus. Des représentants de différents domaines ont été invités : pouvoirs publics, tourisme, énergie, économie privée, industrie du bois, agriculture, mais aussi secteur du logement et de la mobilité





La conférence régionale concentre ses actions sur la réduction des émissions de CO₂ dites « scope 1 ». Il s'agit des émissions directement générées dans la région elle-même. Elles peuvent être réduites de manière plus ciblée que celles des scopes 2 et 3 (source : B. Vogel, édité).

et société civile. Les 35 à 40 participants ont abordé lors des ateliers les quatre phases de la « transition management » : orientation, définition de l'agenda, activation et réflexion. L'équipe de projet a accompagné ce processus transdisciplinaire en préparant, animant et assurant le suivi des ateliers, ainsi qu'en documentant et évaluant conjointement le processus. Les participants ont par exemple pu évaluer les résultats des ateliers. Des entretiens avec certains participants aux ateliers et une enquête en ligne auprès de la population ont également été réalisés.

Une approche scientifiquement fondée

Au cours des ateliers, les participants ont développé des idées, des projets et des concepts largement soutenus, ont échangé leurs réflexions et créé de nouveaux réseaux. Une mesure importante a été l'engagement d'un spécialiste chargé de conseiller la population, les entreprises et les autorités et de les soutenir dans leurs projets. Depuis un peu plus de deux ans, cette tâche de « coach climatique » est assurée par Alina von Allmen, agronome résidant dans la région. Elle discute du thème du climat avec différents groupes et les met en réseau. Elle a

par exemple réuni les sept remontées mécaniques régionales afin qu'elles puissent échanger leurs expériences et coordonner leurs mesures en faveur de la protection du climat. Plusieurs projets intéressants ont déjà vu le jour dans le cadre de cette initiative. Il s'agit notamment de la production de biogaz pour décarboner le réseau de gaz d'Interlaken, du développement de l'énergie éolienne et solaire dans le domaine skiable d'Aaxalp et d'un catamaran électrique sur le lac de Brienz. Ce dernier transporte les touristes sur le lac de manière respectueuse du climat tout en offrant des emplois d'été aux personnes travaillant dans le tourisme hivernal. Pour convaincre encore plus d'entreprises de s'engager en faveur de la protection du climat et lancer d'autres projets, Alina von Allmen mise notamment sur les émotions. Il faut aborder les sujets qui sont importants pour les gens sur place, explique-t-elle. Dans l'Oberland bernois, il s'agit par exemple de l'attachement au paysage, aux montagnes et à la neige.

Un exemple pour d'autres régions

L'équipe de recherche de l'Université de Berne est satisfaite des résultats de ce projet triennal. Elle estime avoir réussi à ancrer la question de la neutralité climatique dans la région grâce à un processus commun. De plus, le programme de mise en œuvre, le réseau établi et le poste de coach climatique ont jeté les bases nécessaires pour que le processus de changement puisse se poursuivre avec succès. Selon les chercheurs, l'approche de « transition management » pourrait également déclencher des processus importants dans d'autres régions et soutenir la transition sociale vers la neutralité climatique en Suisse.



Fabriquée par une entreprise locale, ce catamaran électrique transporte des touristes sur le lac de Brienz en été. Cela a permis de créer de nouveaux emplois pour les employés du secteur du tourisme hivernal (source : Brienz Tourismus).

Remo Bürgi, Faktor Journalisten AG

Coopération internationale

La coopération internationale dans la recherche énergétique occupe une place privilégiée en Suisse. Au plan institutionnel, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) coordonne ses programmes de recherche avec les activités internationales afin d'en exploiter les synergies et d'éviter des doublons. Une importance particulière est accordée à la collaboration et à l'échange d'expériences dans le cadre de l'Agence internationale de l'énergie (AIE). Par le biais de l'OFEN, la Suisse participe ainsi à plusieurs programmes de collaboration technologique de l'AIE (www.iea.org/tcp), voir page suivante.



A l'échelle européenne, la Suisse prend une part – dans la mesure du possible – aux programmes de recherche de l'UE. Au niveau institutionnel, l'OFEN coordonne notamment la recherche énergétique avec les European Partnerships dans le domaine de l'énergie, les European Research Area Networks (ERANET), les Joint Technology Initiatives (JTI), les plateformes technologiques européennes entre autres. Dans plusieurs domaines thématiques (réseaux intelligents, géothermie, hydrogène), la Suisse entretient une étroite coopération multilatérale avec certains pays.

Participation aux programmes de collaboration technologique de l'AIE

	Energy Storage (iea-ecses.org)		Energy in Buildings and Communities (iea-ebc.org)
	Energy Efficient End-Use Equipment (iea-4e.org)		Heat Pumping Technologies (heatpumpingtechnologies.org)
	User-Centred Energy Systems (userstcp.org)		International Smart Grid Action Network (iea-isgan.org)
	High-Temperature Super Conductivity (ieahts.org)		Advanced Fuel Cells (ieafuelcell.com)
	Clean and Efficient Combustion (ieacomustion.com)		Advanced Motor Fuels (iea-amf.org)
	Electric Vehicle (ieahev.org)		Bioenergy (ieabioenergy.com)
	Geothermal Energy (iea-gia.org)		Hydrogen (ieahydrogen.org)
	Hydropower (ieahydro.org)		Photovoltaic Power Systems (iea-pvps.org)
	Solar Heating and Cooling (iea-shc.org)		Concentrated Solar Power (solarpaces.org)
	Wind Energy Systems (iea-wind.org)		Greenhouse Gas R&D (ieaghg.org)
	Energy Technology Systems Analysis Program (iea-etsap.org)		Industrial Energy-Related Technologies and Systems (iea-industry.org)

Participation aux European Partnerships

	Accelerating CCS Technologies (act-ccs.eu)		Clean Energy Transition Partnership (cetpartnership.eu)
	Concentrated Solar Power (csp-eranet.eu)		Driving Urban Transitions (dutuppartnership.eu)
	Geothermica (geothermica.eu)		Materials (m-era.net)
	Smart Energy Systems (eranet-smartenergysystems.eu)		Solar (solar-era.net)
	Geothermal Implementation Working Group (geothermal-iwg.eu)		

D'autres coopérations internationales

	Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking		DACH-Kooperation Smart grids
	International Partnership for Geothermal Technology		Collective Research Networking CORNET

(Page suivante) Lorsque les métaux entrent en contact avec l'oxygène, ils libèrent d'énormes quantités d'énergie. L'aluminium et d'autres métaux peuvent donc être utilisés pour stocker l'électricité renouvelable afin de produire de la chaleur et de l'électricité en hiver. Dans le cadre du projet « Covering Winter Peaks of Heat and Electricity Demand by Renewable Metal Fuels » (PeakMetal), des chercheurs de la Haute école spécialisée de Suisse orientale ont évalué quels métaux sont particulièrement adaptés au stockage et à la restitution d'énergie et dans quelle mesure ils pourraient contribuer à atténuer les pénuries d'électricité/d'énergie en hiver grâce aux énergies renouvelables. L'aluminium, le fer et le silicium sont techniquement adaptés au stockage saisonnier de l'énergie, chaque matériau présentant toutefois des avantages et des inconvénients. L'OST travaille avec l'aluminium. La photo montre un prototype de l'Institut de technologie solaire (SPF) de l'OST pour une production d'hydrogène de 2 kW à partir d'aluminium. Sur la base de leur étude, les chercheurs partent du principe que des « cycles de stockage métalliques » à base d'aluminium et de fer seront commercialisés à court ou moyen terme. Les cycles de stockage d'énergie saisonniers pourraient contribuer de manière significative à couvrir les pénuries d'électricité en hiver (source : SPF Laboratoire).



Impressum:
Office fédéral de l'énergie OFEN
CH-3003 Berne
www.recherche-energetique.ch
alice.brandner@bfe.admin.ch

