



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

Recherche énergétique et innovation

Rapport 2023





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

(Photo de couverture) Dans le cadre du projet HyCo (Hydrogen Metal Hydrides Thermal Compressor with low Operational Costs), la faisabilité technique et commerciale d'une application commerciale d'un compresseur d'hydrogène à base d'hydrures métalliques est étudiée. Les hydrures métalliques sont des matériaux poreux ayant une grande capacité d'absorption d'hydrogène. Cette technologie a le potentiel de réduire considérablement les coûts de la compression de l'hydrogène. La compression de l'hydrogène à l'aide d'hydrures métalliques présente l'avantage de nécessiter, entre autres, de l'énergie thermique. Par conséquent, la chaleur résiduelle peut être utilisée. GRZ Technologies SA, un spin-off du Laboratoire des matériaux pour les énergies renouvelables de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, a déjà mis sur le marché un compresseur d'hydrogène commercial à base d'hydrures métalliques. Dans le cadre du projet, un grand compresseur à hydrure métallique Hyco sera installé à côté d'un compresseur mécanique existant sur le site de Lonza AG à Viège, afin de permettre une comparaison avec un compresseur state-of-the-art (source: GRZ Technologies SA, E. Cavin).



(A gauche) L'utilisation de dispositifs d'ombrage photovoltaïques est l'une des mesures permettant de réduire l'empreinte énergétique et de tendre vers des bâtiments à énergie quasi nulle. Ceci en protégeant les bâtiments du rayonnement solaire direct et de la surchauffe tout en produisant de l'électricité renouvelable sur place et en améliorant le confort thermique des utilisateurs. L'objectif du projet BIPVdSHADING financé par l'OFEN est de démontrer la faisabilité technique et économique d'une technologie d'ombrage dynamique BIPV (photovoltaïque intégré au bâtiment) esthétique et préfabriquée en réalisant le système dans un bâtiment réel. Un système BIPV a été installé sur la façade du nouveau pavillon de l'Université Franklin à Soregno (source: Aziende Industriali di Lugano (AIL) SA).



Sommaire

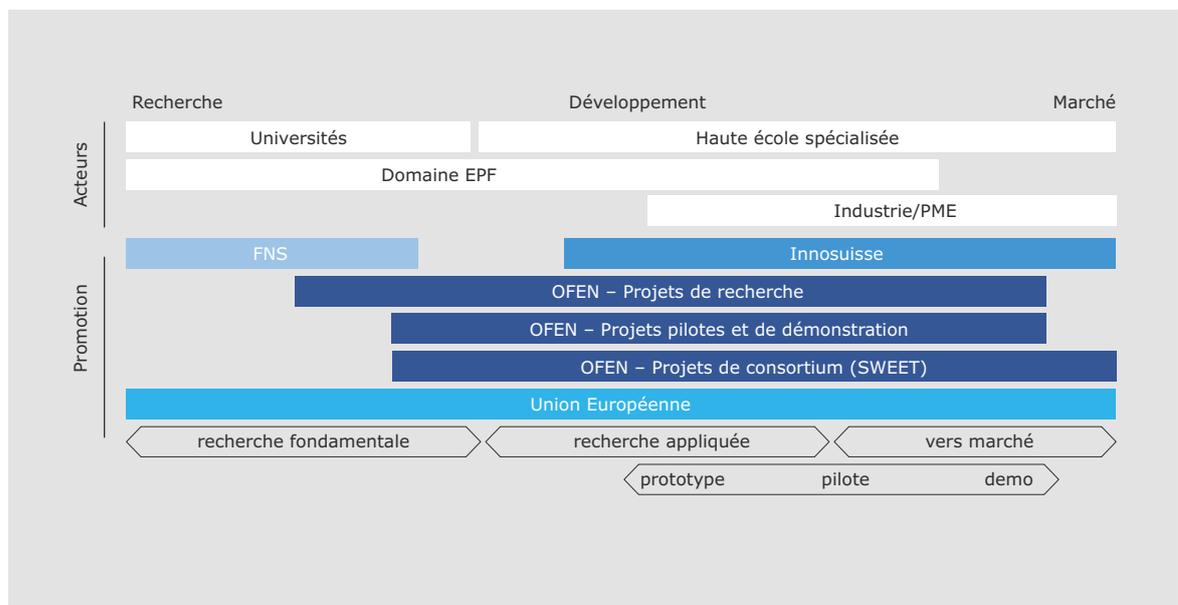
Editorial	3
Sommaire	4
Vue d'ensemble	
Promotion de la technologie et de l'innovation	5
Programmes de recherche énergétique thématiques	6
Encouragement de recherche interdisciplinaire et transdisciplinaire avec SWEET	6
Statistiques de la recherche énergétique en Suisse	8
Highlights	
Stocker du CO ₂ dans le basalt islandais	12
Installer plus facilement des conduites pour le chauffage urbain	14
Un toboggan aquatique pour la pierre et le gravier	18
Construire et assainir avec des émissions de gaz à effet de serre quasi nulles	20
Recharger les véhicules électriques sans surcharger le réseau	24
Aider la gestion de l'énergie à prospérer	26
Affaires internationales	
Coopération internationale	29
Participation aux programmes de collaboration technologique de l'AIE	30
Participation aux European Partnerships	30
D'autres coopérations internationales	30

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. A cet égard, il se base sur son propre concept de recherche énergétique 2021–2024, lui-même basé sur le concept de recherche énergétique de la Confédération. Pour la période actuelle 2021–2024, l'accent est davantage mis sur la recherche non technique (angl. SSH: social sciences and humanities). Les sciences techniques et les 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 et pour coordonner ainsi la recherche énergétique suisse. Actuellement, environ 50 millions de francs suisses sont mis à disposition chaque année et environ 300 projets en cours sont suivis de près chaque année.



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).

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 dans les domaines de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables. 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.



 Bâtiments et cités (3-8)	 Mobilité (4-8)	 Processus industriels (3-8)
 Réseaux (3-8)	 Technologies de l'électricité (3-8)	 Systèmes énergétiques à combustion (3-8)
 Piles à combustible (2-8)	 Batteries (2-8)	 Pompes à chaleur et froid (4-8)
 Chaleur solaire et stockage de la chaleur (4-8)	 Photovoltaïque (3-8)	 Energie solaire à haute température (CSP) (3-8)
 Hydrogène (2-8)	 Bioénergie (3-8)	 Force hydraulique (4-8)
 Géoénergie (3-8)	 Energie éolienne (4-8)	 Barrages (3-8)
 Energie – économie – société		

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» - encourage les consortiums de recherche inter- et transdisciplinaires qui recherchent des questions centrales relatives à la stratégie énergétique 2050 et à la stratégie climatique à long terme de la Suisse. Des appels d'offres thématiques sont lancés à cet effet.

En 2023, deux nouveaux consortiums ont commencé leurs travaux. Le consortium CoSi («Co-Evolution and Coordinated Simulation of the Swiss Energy System and Swiss Society») doit établir une collaboration durable entre les disciplines techniques et scientifiques, les sciences économiques et les sciences sociales et humaines. Pour ce faire, le consortium étudiera comment l'évolution du système énergétique suisse et de la société suisse s'influencent mutuellement.



Un autre objectif de CoSi est d'intégrer les connaissances et les approches des sciences sociales et humaines dans la modélisation et les simulations. L'harmonisation des hypothèses et des scénarios doit en outre permettre de comparer les résultats des simulations des groupes de recherche.

Le deuxième nouveau consortium s'intéresse aux carburants et combustibles durables ainsi qu'aux produits chimiques de plateforme. ReFuel.ch («Renewable Fuels and Chemicals for Switzerland») étudiera comment combler les lacunes techniques et non techniques en matière de connaissances afin d'accroître la sécurité des investissements dans les carburants et combustibles durables. Par ailleurs, il s'agira de développer des technologies innovantes dont le degré de maturité technologique est actuellement faible. Le consortium veut clarifier les conditions dans lesquelles les différentes technologies sont

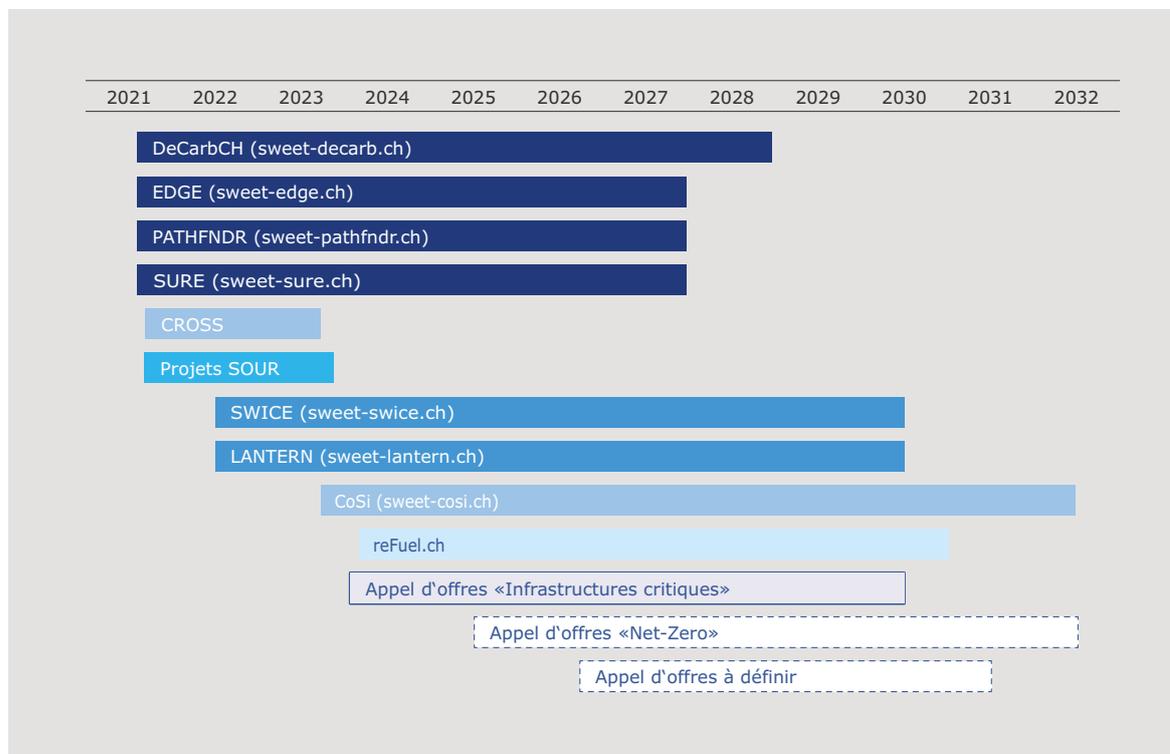
en accord avec les objectifs à long terme de la politique climatique. Il s'agit en outre d'accroître l'efficacité et la flexibilité de la charge des installations de production. Les chercheurs développeront des pistes concrètes sur la manière dont les carburants et combustibles durables et les produits chimiques de la plateforme peuvent être introduits dans le système énergétique et sur d'autres marchés.

Un appel d'offres sur le thème principal «Infrastructures critiques, changement climatique et résilience du système énergétique suisse» a été lancé en 2023. Le futur consortium est appelé à analyser l'influence des infrastructures critiques sur le système énergétique, notamment sous l'effet du changement climatique. Il s'agira en outre d'étudier la vulnérabilité du système énergétique face aux dangers techniques, naturels et sociétaux et d'examiner comment la résilience du système énergétique peut être augmentée.

En complément des consortiums SWEET à long terme, des projets non conventionnels menés par des chercheurs individuels ou de petites équipes sont également encouragés. Quatre projets SOUR («SWEET Outside-the-box Rethinking») se sont achevés en 2023. Parmi eux, le projet ProdUse, dans lequel un chercheur a étudié

si et comment les scénarios énergétiques soutiennent les processus de décision dans la politique, l'économie et la société.

Un fossé apparaît alors: D'un côté, il y a la science, qui élabore des scénarios de plus en plus détaillés en se concentrant sur la perspective technico-économique. De l'autre, les utilisateurs potentiels, qui s'intéressent également aux aspects des sciences sociales et souhaitent des informations faciles à comprendre. Voici un exemple de l'écart entre ces deux mondes: Il existe des scénarios qui prévoient en détail comment les moteurs électriques vont supplanter les véhicules à combustion et comment cela va modifier la consommation d'électricité et les émissions de CO₂. Mais que se passera-t-il lorsque les gens se déplaceront à vélo pour de courts trajets ou lorsque les villes seront construites de manière à ce que tout ce qui est nécessaire soit accessible en 15 minutes à pied? De tels changements ne sont guère pris en compte dans les scénarios actuels, mais ils ouvrent des pistes de solution intéressantes. Ce sont précisément de telles lacunes qu'il s'agit désormais de combler en intégrant les connaissances des sciences humaines et sociales dans le développement de modèles énergétiques. Ces connaissances de ProdUse sont intégrées dans les travaux de CoSi.



Aperçu des consortiums des appels d'offres terminés, en cours et prévus du programme d'encouragement SWEET. En 2023, les deux nouveaux consortiums CoSi et reFuel.ch ont commencé leurs travaux et un appel d'offres sur le thème «Infrastructures critiques» a été lancé. Les consortiums qui ont déjà commencé leurs recherches en 2021 ou 2022 restent actifs: DeCarbCH, EDGE, PATHFNR et SURE s'intéressent à 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 des secteurs ainsi que la durabilité et la résilience. Les deux consortiums LANTERN et SWICE élaborent, dans le cadre de ce que l'on appelle des Living Labs, de nouvelles formes de vie, de travail et de mobilité ainsi que des solutions pour une Suisse décarbonisée et efficace dans l'utilisation des ressources.

DeCarbCH



EDGE



PATHFNR



SURE



SWICE



LANTERN



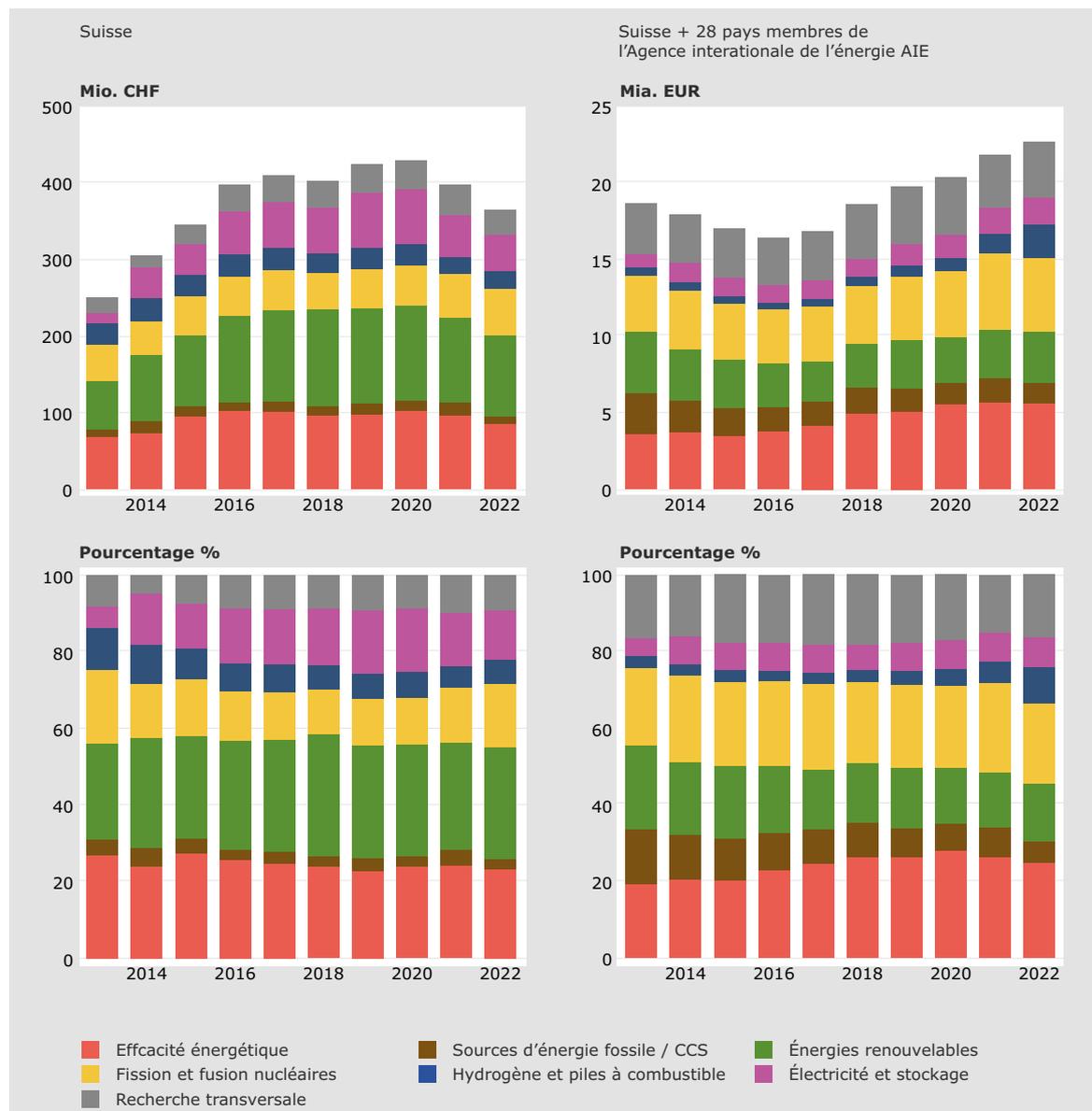
CoSi



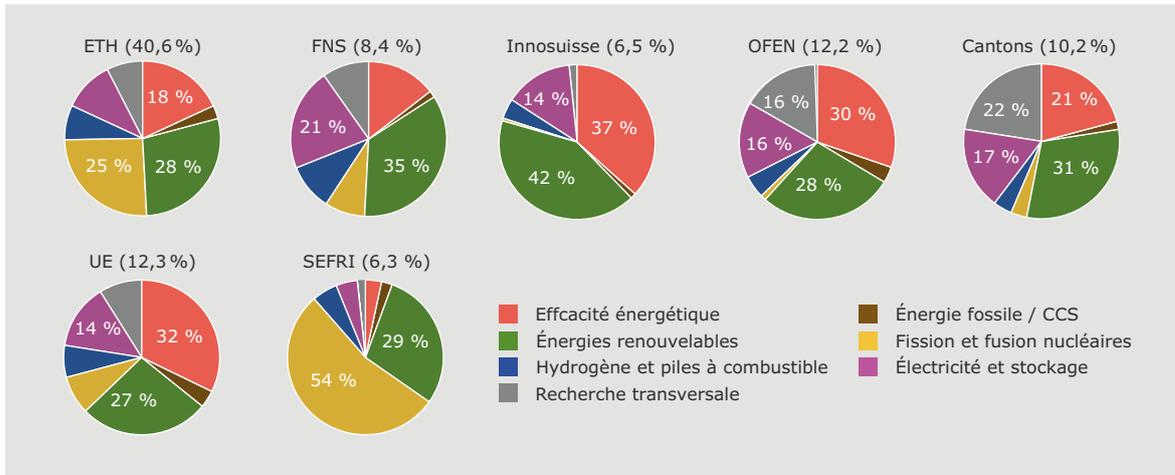
Statistiques de la recherche énergétique en Suisse

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.snf.ch) et de l'UE (cordis.europa.eu), ainsi que sur le site internet

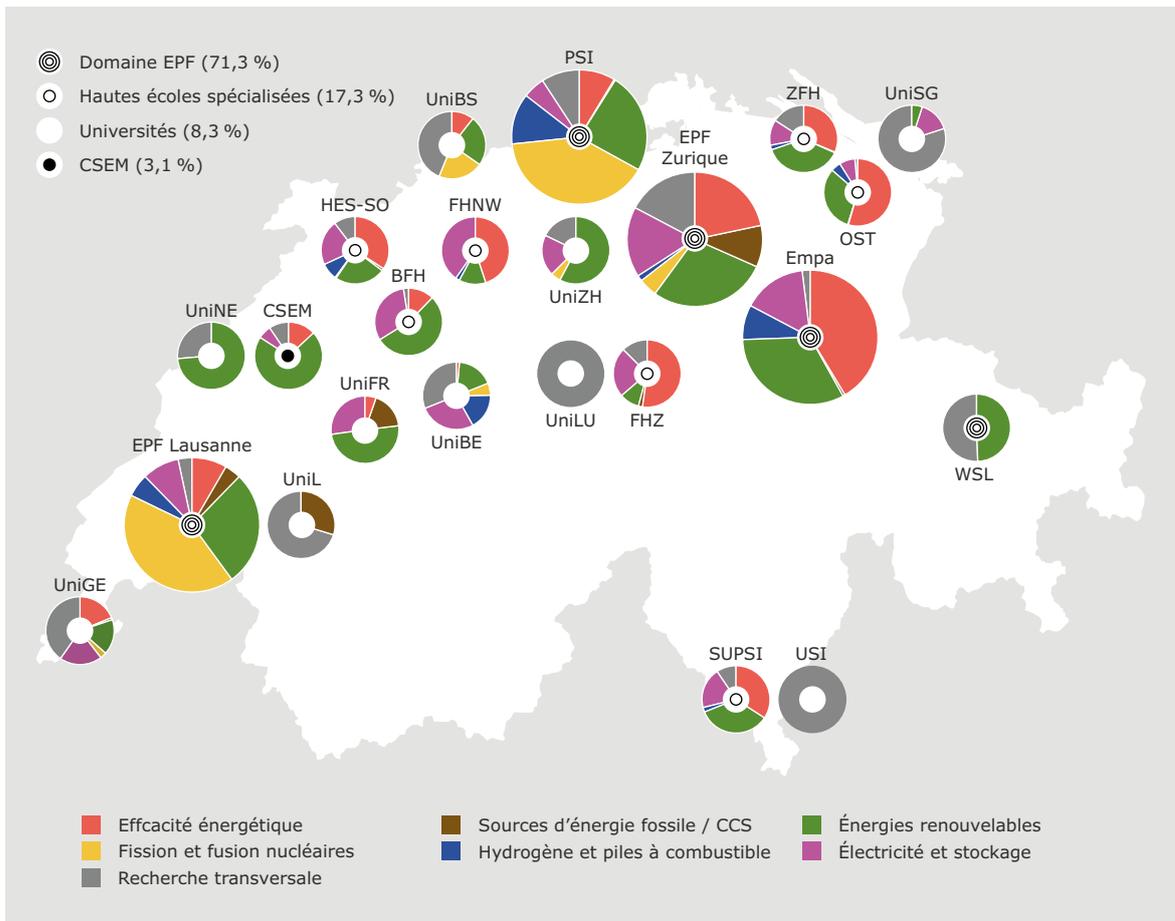
des institutions concernées. En 2022, les dépenses publiques pour la recherche énergétique en Suisse se sont élevées à 365 millions de francs. Avec environ 40.6 %, le domaine des EPF a apporté la plus grande part. Après l'UE (12.3 %), l'OFEN a pris la troisième place avec 12.2 %. Sur les 30.5 millions de francs dépensés par l'OFEN, environ 12.4 millions de francs sont allés à des projets d'efficacité énergétique, 10.4 millions de francs à des projets d'énergies renouvelables et 7.3 millions de francs à des projets dans le domaine des sciences humaines et sociales.



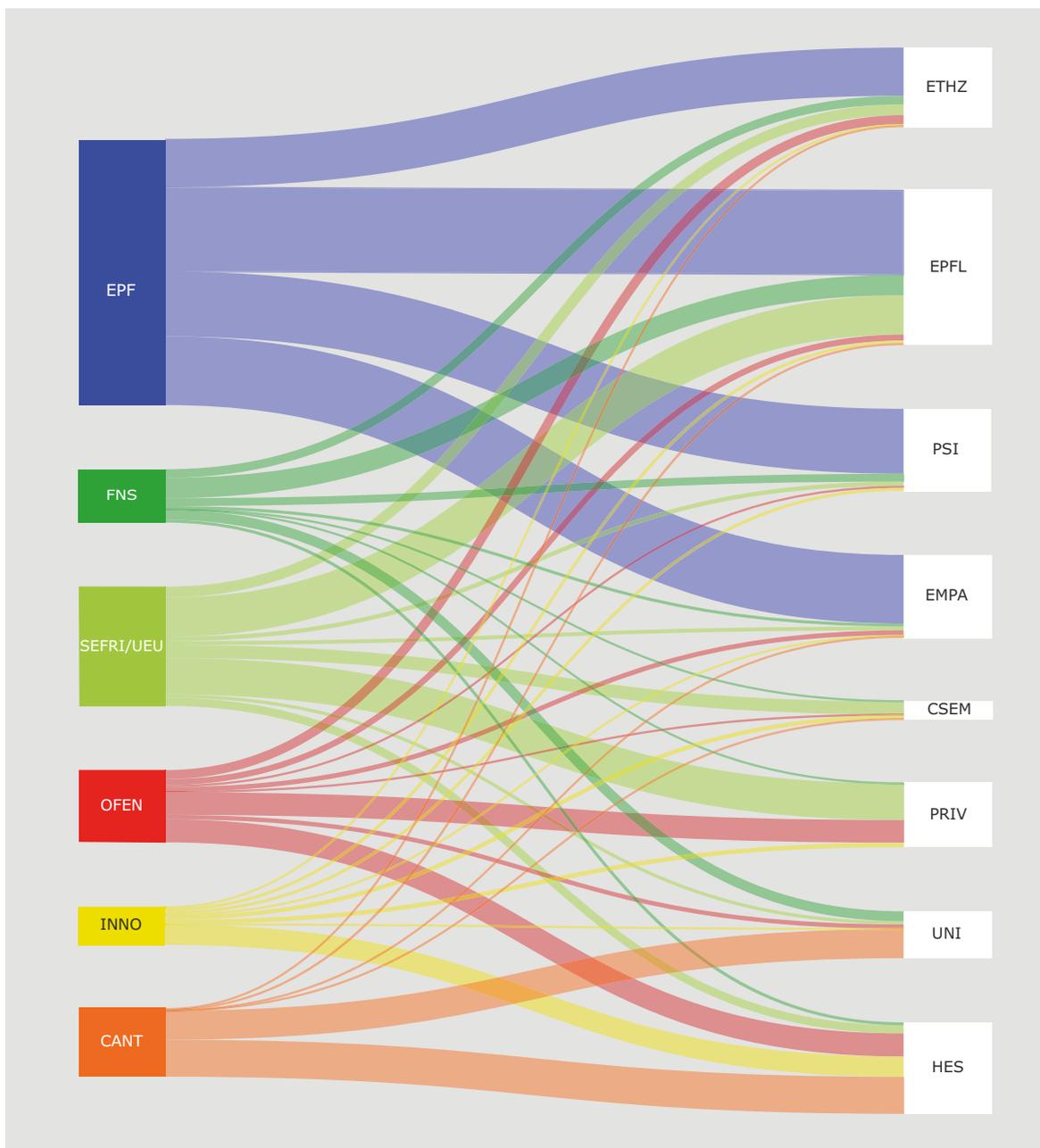
Fonds publics consacrés à la recherche énergétique en Suisse (à gauche) et dans 29 pays membres de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) (à droite). Pour la Suisse, ces dépenses se situent dans une fourchette de 0.3 à 0.65 pour mille du produit intérieur brut. Les fonds sont répartis selon la classification de l'AIE (source: OFEN).



Financement public de la recherche sur l'énergie (données 2022) 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 10 % 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 2022). 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, ETHZ: 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.

(A droite) Dans le projet DemoUpCARMA, du CO₂ est injecté dans le sous-sol basaltique. Le CO₂ est ensuite stocké durablement par la minéralisation (source: DemoUpCARMA/EPF Zurich).



Stocker du CO₂ dans le basalte islandais

Un projet pilote montre qu'il est possible de capter le dioxyde de carbone (CO₂) en Suisse, de le transporter en Islande et de le stocker dans le sous-sol. Le bilan climatique est certes positif, mais le projet a également identifié différents points qui doivent encore être clarifiés pour une mise en œuvre à grande échelle.

Pour que la Suisse puisse réduire son bilan de gaz à effet de serre à presque zéro d'ici 2050, il faut éviter autant que possible les émissions. En outre, des solutions sont nécessaires pour compenser les émissions difficilement évitables. Avec le projet pilote DemoUpCARMA (Demonstration and Upscaling of Carbon dioxide Management solutions for a net-zero Switzerland), soutenu par la Confédération, la science et l'industrie, des chercheurs dirigés par l'École polytechnique fédérale de Zurich (EPF Zurich) étudient comment deux méthodes de stockage du CO₂ peuvent être mises en œuvre à grande échelle. Outre le stockage du CO₂ dans du béton en Suisse, le projet examine de près le transport et le

stockage permanent du CO₂ dans un réservoir géologique en Islande.

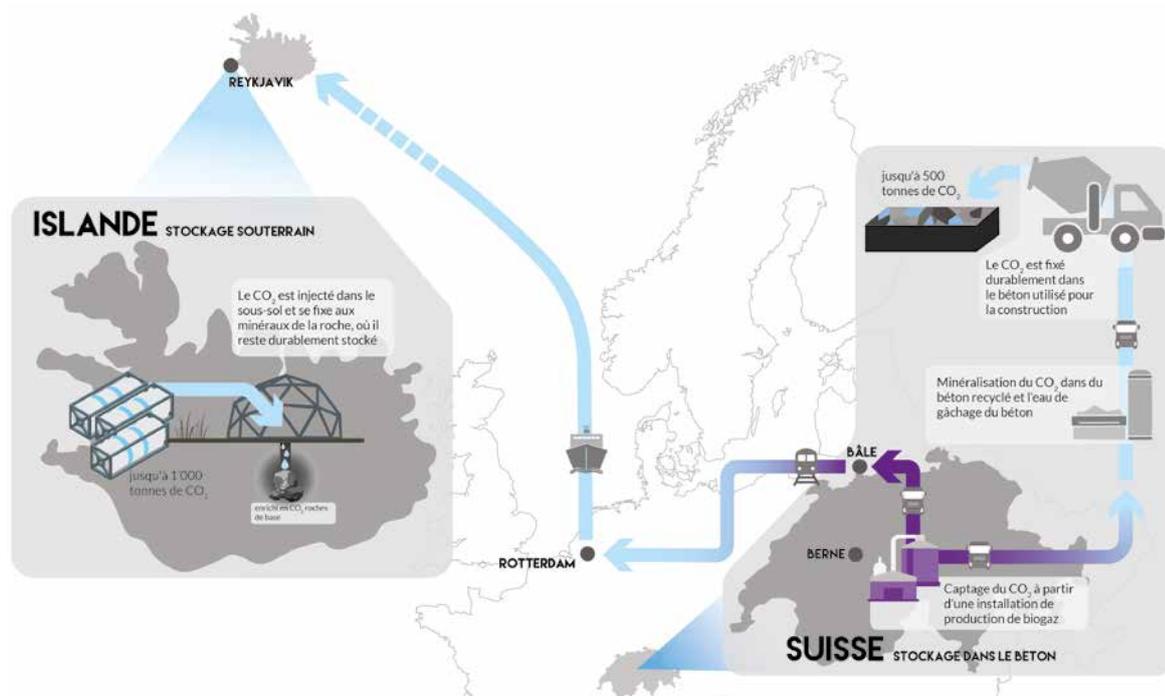
Nouveau procédé d'injection

Un sous-projet démontre la faisabilité de cette chaîne d'approvisionnement en CO₂. Pour ce faire, le CO₂ provenant de matières biologiques est liquéfié sur place à la station de traitement des eaux usées de Berne, puis transporté en Islande dans des conteneurs par camion, train et bateau. Sur un site existant, le CO₂ est mélangé à de l'eau douce et pressé dans la roche basaltique du sous-sol, ce que l'on appelle une injection. Grâce à des processus chimiques, il est lié de manière minérale et stocké durablement. En outre, les chercheurs testent pour la première

fois sur un nouveau site un procédé permettant de dissoudre le CO₂ dans l'eau de mer et de l'injecter dans le sous-sol. Un autre sous-projet étudie jusqu'à fin 2024 le bon fonctionnement des injections et du processus de minéralisation avec cette nouvelle méthode.

Techniquement faisable

Les connaissances acquises jusqu'à présent montrent que l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement en CO₂, du captage au stockage, est réalisable d'un point de vue technique et écologique. Le bilan climatique est positif, même si chaque tonne de CO₂ stockée génère 200 à 250 kg de CO₂. La majeure partie de ces émissions provient du transport, qui



DemoUpCARMA a étudié deux méthodes de stockage permanent du CO₂: celle dans le béton en Suisse et celle du transport et du stockage permanent du CO₂ dans un réservoir géologique en Islande (source: DemoUpCARMA/EPF Zurich).



Sur deux sites en Islande, le CO₂ est mélangé à de l'eau douce et, pour la première fois, à de l'eau de mer, puis injecté dans le basalte (source: DemoUpCARMA/EPF Zurich).

continue de nécessiter des énergies fossiles. Si celles-ci sont remplacées à l'avenir par des énergies renouvelables, ces émissions diminueront. Comme le projet pilote a utilisé du CO₂ biogène, il a même été possible de générer des émissions négatives. Les coûts par tonne de CO₂ stocké s'élèvent actuellement à plusieurs centaines de francs, ce qui est toutefois justifié par le caractère pilote du

projet. On peut supposer qu'ils devraient baisser en cas de stockage à l'échelle industrielle. Le projet pilote montre également qu'il reste des points à éclaircir. Il s'agit notamment des différentes prescriptions légales en Suisse et dans l'UE, des lacunes dans les connaissances de tous les participants, mais aussi du développement d'un suivi systématique du CO₂.

D'ici la fin de DemoUpCARMA en septembre 2024, l'équipe de recherche collectera d'autres données sur la rentabilité et l'écologie de la chaîne d'approvisionnement en CO₂ et procédera à une évaluation finale. Les connaissances acquises serviront de base aux étapes ultérieures vers une exploitation à grande échelle.



Le CO₂ liquéfié est transporté de la Suisse vers l'Islande dans des conteneurs spéciaux par camion, train et bateau (source: DemoUpCARMA/EPF Zurich).



Le projet pilote a été mené sur le campus «Energypolis» à Sion (bâtiments sombres au centre de l'image). C'est là que se trouvent les sites de l'EPFL Valais et de la HES-SO Valais (source: HES-SO Valais-Wallis).

Installer plus facilement des conduites pour le chauffage urbain

Les réseaux thermiques à basse température - appelés réseaux anergie - fonctionnent généralement avec de l'eau. Un projet en Valais montre qu'ils fonctionnent également avec du dioxyde de carbone (CO₂). Comme ce dernier a une densité énergétique plus élevée que l'eau, les avantages sont surtout visibles dans les zones urbaines.

Alimenter les bâtiments en chaleur et en froid renouvelables est l'un des grands défis de la transition énergétique. En Suisse, les réseaux de chauffage et de refroidissement urbains peuvent apporter une contribution importante à cet égard. Ces réseaux dits thermiques relient

généralement une centrale qui produit de l'énergie aux bâtiments qui la consomment. L'avantage est que chaque bâtiment n'a pas besoin de sa propre source d'énergie renouvelable, comme l'eau souterraine, la géothermie ou les rejets thermiques. Au lieu de cela, celle-ci est exploitée

de manière centralisée et l'énergie produite est ensuite distribuée par des canalisations.

L'eau nécessite des conduites épaisses

Dans les réseaux thermiques, l'eau sert généralement à transporter

l'énergie. Elle est chauffée à une certaine température dans la centrale par des pompes à chaleur ou des échangeurs de chaleur, puis acheminée vers les différents bâtiments. La chaleur y est prélevée pour le chauffage ou l'eau chaude. L'eau se refroidit alors légèrement dans le réseau thermique. Elle est ensuite ramenée à la centrale, où elle est à nouveau réchauffée. Il en résulte un circuit qui alimente en énergie un site, un quartier ou toute une partie de la ville.

L'eau convient en principe très bien au transport de la chaleur: elle est disponible (presque) partout, peu coûteuse et ne présente aucun danger pour l'environnement en cas de fuite. Mais l'eau présente aussi quelques inconvénients, notamment pour la construction de conduites pour les réseaux anergie. Ainsi, les conduites de distribution doivent être assez grandes pour que l'eau/énergie puisse y circuler en quantité suffisante. De plus, ils doivent être fortement isolés pour que la chaleur ne s'échappe pas. De tels conduites peuvent donc atteindre un diamètre

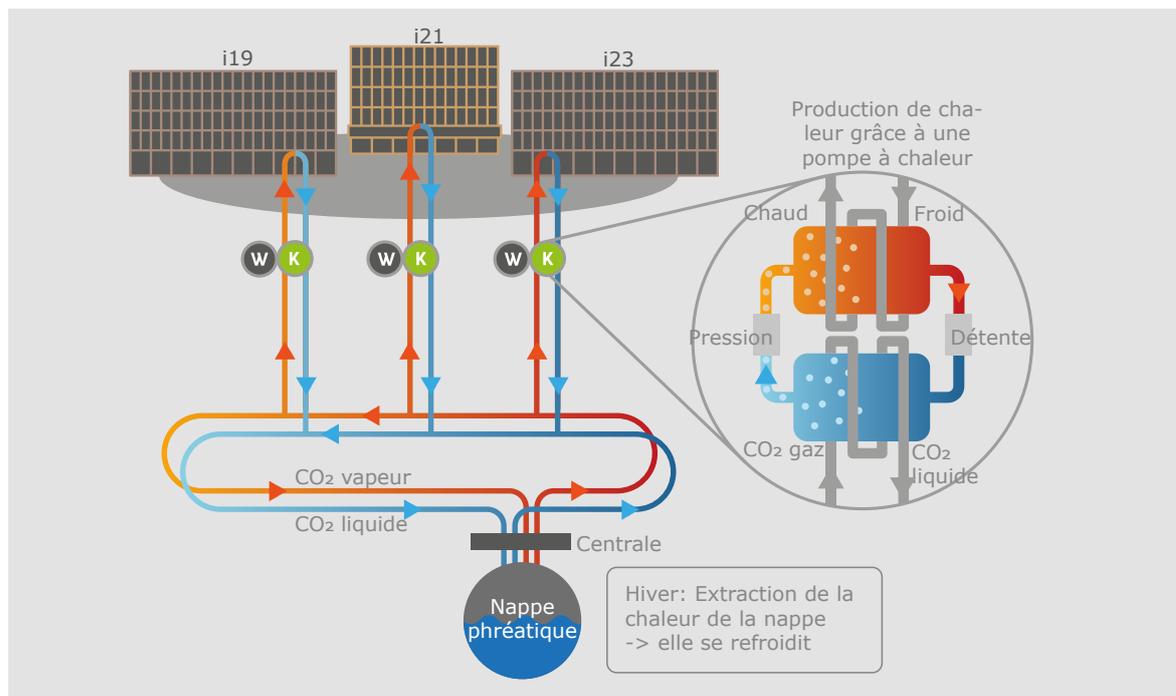
de 40 cm, ce qui est assez grand pour l'espace limité dans le sous-sol. De plus, à moins d'utiliser de l'eau glycolée, les conduites doivent être enfouies assez profondément dans le sol afin d'être protégées du gel. Par conséquent, la planification et la pose de nouvelles conduites pour un réseau anergie sont assez coûteuses - en temps et en argent.

Le CO₂ comme alternative

Afin de déterminer si la construction de conduites avec un autre agent caloporteur que l'eau est plus simple, un projet pilote soutenu par l'Office fédéral de l'énergie a été mené en Valais en 2022/2023. Les hautes écoles HES-SO Valais-Wallis et EPFL Valais ainsi que les partenaires industriels Zero-C, ExerGo et OIKEN y ont participé. Le projet a consisté à raccorder trois bâtiments du campus commun des deux hautes écoles à Sion à un réseau anergie, soit fonctionnant à un niveau de température très bas. Le CO₂ est utilisé comme fluide porteur.

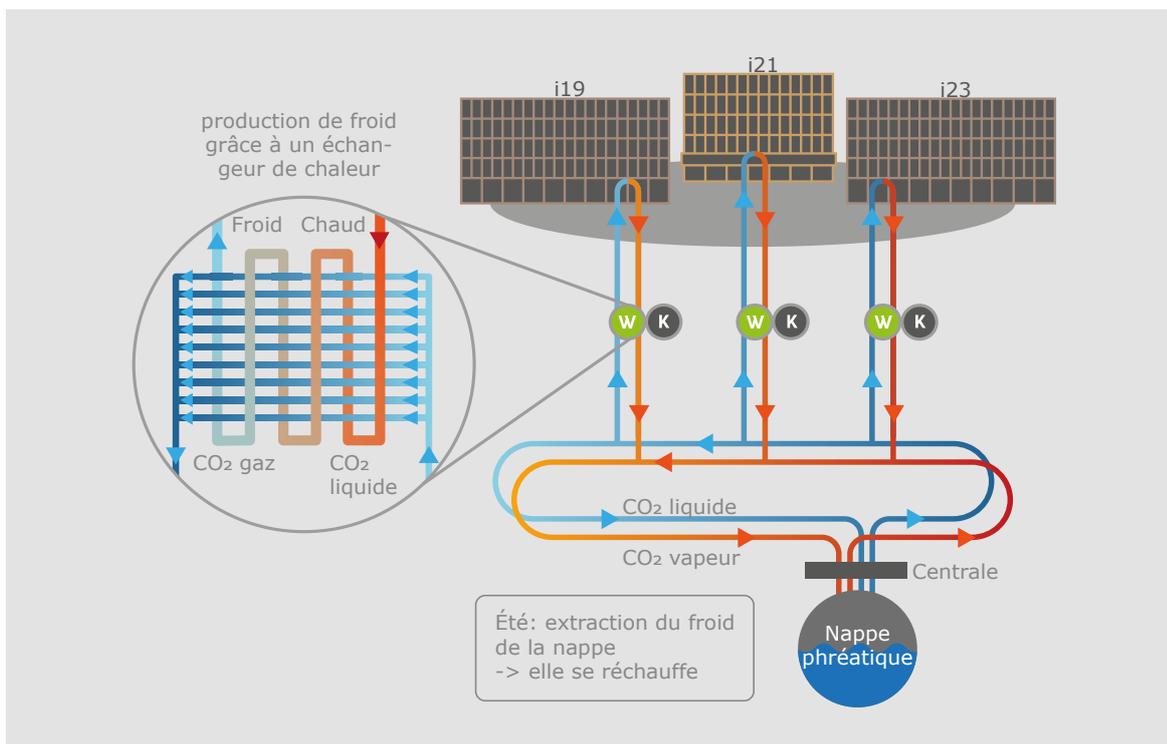
Le réseau anergie au CO₂ se compose de deux boucles distinctes qui reli-

ent la centrale aux sous-stations des trois bâtiments. Dans l'une des boucles circule du CO₂ liquide, dans l'autre du CO₂ gazeux. Si un bâtiment doit être chauffé, la boucle contenant le CO₂ gazeux est sollicitée (voir graphique ci-dessous). La pompe à chaleur située dans la sous-station du bâtiment refroidit alors le CO₂ jusqu'à ce qu'il se condense, c'est-à-dire qu'il devienne liquide. Ce passage de l'état gazeux à l'état liquide libère une grande quantité de chaleur que la pompe à chaleur utilise pour réchauffer le circuit de chauffage du bâtiment. Le CO₂ liquéfié est pompé dans le réseau anergie pour revenir à la centrale. Là, un échangeur de chaleur réchauffe le CO₂ liquide, dont la température est d'environ 7 °C, à l'aide d'une source d'énergie externe, afin qu'il redeviende gazeux et que le cycle puisse recommencer. Dans le projet pilote de Sion, l'eau souterraine à une température de 10 à 12 °C sert de source d'énergie. Si un bâtiment doit être refroidi, le circuit de CO₂ liquide est activé. Les processus se déroulent exactement à l'inverse de ceux du chauffage (voir graphique p. 16). L'installa-



Chauffage: lorsque le CO₂ gazeux se refroidit, il se condense. Ce passage de l'état gazeux à l'état liquide libère de la chaleur qui peut être utilisée pour chauffer des bâtiments (source: HES-SO Valais-Wallis, édité).





Le refroidissement: Lorsque le CO₂ liquide est chauffé, il s'évapore et se transforme en gaz. Ce processus libère du froid qui peut être utilisé pour refroidir des bâtiments (source: HES-SO Valais-Wallis, édité).

tion de refroidissement du bâtiment cède de la chaleur au CO₂ liquide du réseau, qui s'évapore. La chaleur contenue dans le CO₂ gazeux peut en principe être prélevée dans d'autres bâtiments pour le chauffage. S'il n'y a pas de besoin à cet effet, le CO₂ gazeux retourne à la centrale à une température d'environ 15 °C, où il est refroidi et liquéfié par l'eau souterraine via un échangeur de chaleur. Le cycle recommence. La chaleur excédentaire est à nouveau transférée à la nappe phréatique.

Moins d'espace nécessaire

L'utilisation du CO₂ comme fluide porteur au lieu de l'eau présente plusieurs avantages. L'évaporation d'un kg de CO₂ libère ou retient nettement plus de chaleur que le réchauffement ou le refroidissement de la même quantité d'eau. Il y a donc moins de masse à transporter dans le réseau, de sorte que les pompes ont besoin de moins d'énergie et que les coûts énergétiques diminuent. Autre avantage: le diamètre des conduites pour le CO₂ ne représente qu'un tiers de celui des conduites d'eau et néces-

site donc moins de place. Et comme le CO₂ ne gèle qu'à -78.5 °C, les conduites peuvent être posées plus près de la surface que les conduites d'eau. Cela peut réduire considérablement les efforts et les coûts d'installation

des conduites et permet une planification et une mise en œuvre plus rapides, notamment dans les villes densément peuplées où l'espace disponible est limité.



Pour des raisons de sécurité, la conduite interne transportant le CO₂ est entourée d'un autre tuyau. Les deux tuyaux supportent une pression de 90 bars (source: HES-SO Valais-Wallis).



Les conduites blanches ont été posées dans le sous-sol à partir de la bobine et transportent désormais le CO₂. Grâce à la section plus petite que celle des conduites d'eau, il a fallu creuser des fouilles moins profondes (source: HES-SO Valais-Wallis).

Potentiel disponible

Les performances énergétiques des pompes à chaleur sont similaires pour les réseaux anergie au CO₂ et les réseaux anergie à l'eau. Les coûts des conduites sont environ deux fois moins élevés pour les premiers, mais les coûts de la sous-station sont environ 25 % plus élevés. La durée de construction des réseaux d'énergie au CO₂ devrait être nettement inférieure à celle des réseaux conventionnels, mais cela reste à prouver dans la pratique. Selon l'équipe de recherche, les expériences tirées de l'exploitation commerciale constituent maintenant la prochaine étape pour acquérir des connaissances sur la régulation et le dimensionnement des conduites, etc. Grâce au projet valaisan, il est toutefois clair que les réseaux d'énergie au CO₂ ont en principe le potentiel de simplifier et d'accélérer la décarbonisation de l'approvisionnement en chaleur.



Dans la centrale énergétique du réseau d'énergie, l'eau souterraine refroidit ou réchauffe le CO₂ via un échangeur de chaleur (source: HES-SO Valais-Wallis)



La sortie de la galerie de dérivation sur l'Albula, par laquelle les alluvions sont déviées le long du barrage de Solis (source: VAW EPF Zurich).

Un toboggan aquatique pour la pierre et le gravier

Plus de la moitié des demandes en électricité de la Suisse sont couvertes par l'énergie hydraulique. Pour assurer la sécurité de l'approvisionnement, il est donc important de maintenir, de moderniser et d'augmenter les capacités du parc de centrales électriques national. L'École polytechnique fédérale de Zurich (EPF Zurich) a étudié, à l'exemple du barrage de Solis, comment le volume de stockage - avec une galerie de dérivation des sédiments - peut être préservé à long terme et même augmenté après la sédimentation.

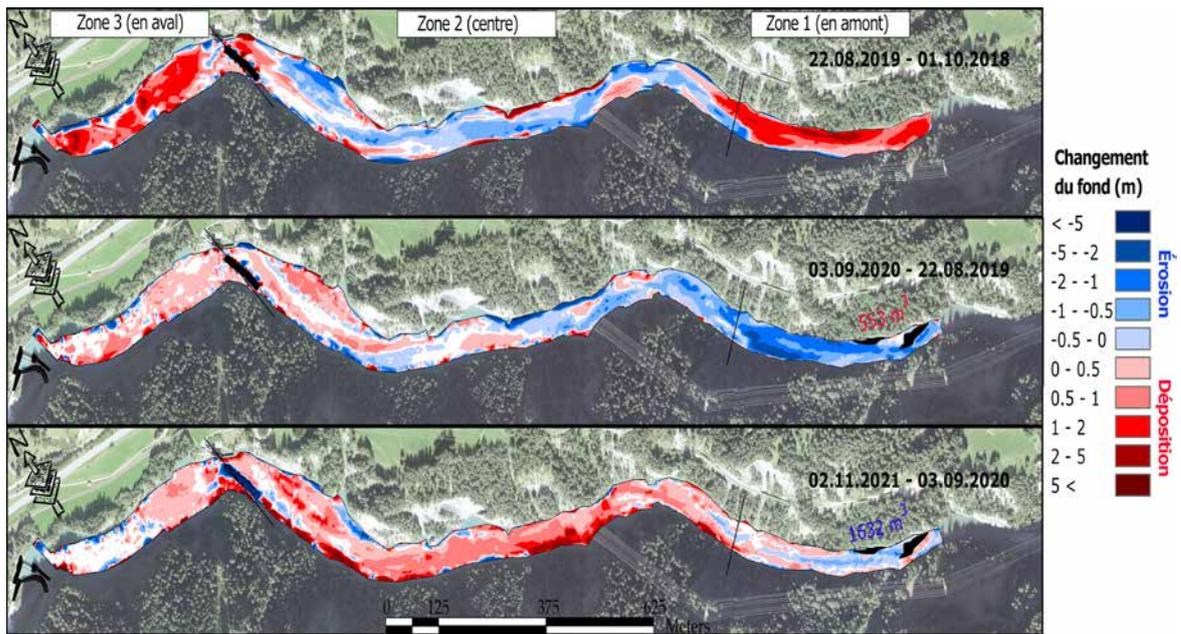
Utiliser l'énergie hydraulique de manière durable signifie protéger les écosystèmes dans la mesure du possible. Dans la vallée de l'Albula, dans le centre des Grisons, ces deux intérêts sont combinés. En 2012, le barrage de Solis a été doté d'une galerie supplémentaire qui permet de dévier les sédiments des affluents le long du barrage. Cette dérivation répond à une exigence écologique de la loi nationale sur la protection des eaux: Les pierres, le gravier et le sable fin ne restent pas dans le barrage, mais assurent également des habitats dynamiques dans le lit de la rivière en aval du barrage.

L'ouvrage a une utilité économique tout aussi essentielle pour l'énergie hydraulique. Le barrage de Solis s'est longtemps ensablé. Son volume a diminué d'environ 50 % en l'espace de 25 ans. Depuis la mise en service de la galerie, la plus grande partie des sédiments passe cependant à côté du barrage. Des chercheurs de l'EPF Zurich ont pu mesurer cet effet: En période de crue, la galerie de charriage dirige une grande partie des sédiments directement dans le lit de la rivière en aval du barrage. Le reste du temps, seule une petite quantité de matériaux se dépose dans le lac de retenue.

Les crues, une chance

Le projet de recherche RESEMO a en outre étudié la quantité d'eau qui s'écoule dans la galerie et qui est ainsi perdue pour la production d'électricité. Entre 2018 et 2021, les chercheurs en hydraulique de l'EPF Zurich ont collecté de nombreuses données sur l'écoulement de l'eau et le transport des sédiments à l'aide de plusieurs échantillons. Trois crues survenues pendant la campagne de recherche se sont révélées être des coups de chance, car ce n'est qu'à ce moment-là que la galerie de charriage est mise en service et que le lac de retenue est en même temps





Un résultat du projet de recherche: dépôt de sédiments (rouge) et érosion par sédiments (bleu) dans le barrage de Solis pour trois périodes entre 2018 et 2021. La ligne de points noirs dans la partie inférieure du réservoir indique l'entrée de la galerie (sens d'écoulement: de droite à gauche; source: VAW EPF Zurich, édité).

partiellement abaissé. Les données obtenues à cette occasion ont pu contribuer largement à démontrer l'effet de dérivation.

Un résultat essentiel est que la galerie ne dévie pas seulement les sédiments charriés lors des crues, mais qu'elle emporte également les roches qui se sont sédimentées au fond du lac lors des périodes précédentes. Selon les données recueillies, l'ampleur de l'effet de rinçage dépend essentiellement du niveau du lac de retenue: plus le niveau d'eau est bas, plus la galerie supplémentaire rince. Cette constatation joue en faveur de l'exploitant de la centrale: en cas de crue, il doit de toute façon décider de la manière dont l'eau excédentaire doit être évacuée. Il le sait maintenant: Une baisse momentanée du niveau permet de vider le fond du lac.

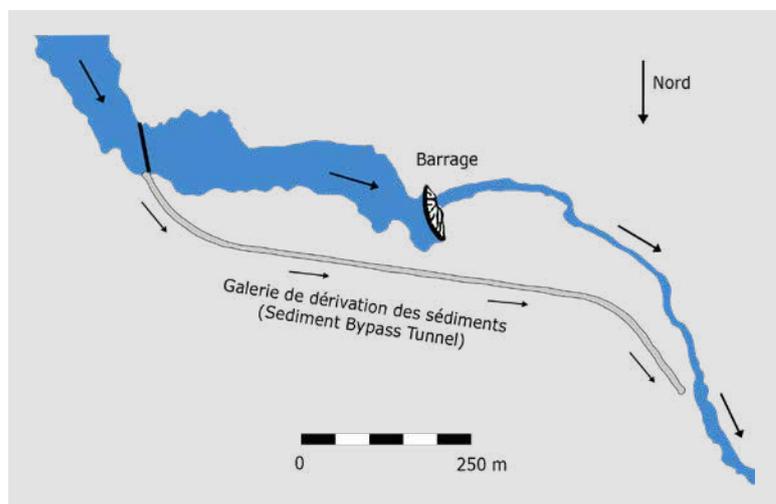
Maintenir la capacité

Enfin, les chercheurs de l'EPF Zurich ont pu montrer qu'une galerie de dérivation ne perturbe pas non plus l'exploitation d'un lac de retenue. L'abaissement nécessaire du niveau du lac réduit certes la production d'électricité à court terme, mais à

long terme, cette mesure préserve la capacité de stockage. Pour que le volume utilisable ne diminue pas, le lac devrait sinon être dragué à grands frais tous les deux ans.

Le projet de recherche dans la vallée de l'Albula montre la voie à suivre pour l'avenir de l'énergie hydraulique nationale. D'une part, des galeries de dérivation comparables sont en service sur dix sites et, d'autre part, le changement climatique et le recul des glaciers augmentent la

charge de sédiments dans les cours d'eau alpins. Les exploitants de centrales peuvent désormais mieux s'en prémunir. Une galerie de dérivation comme celle de l'Albula rend de précieux services en tant que «toboggan» et «aspirateur» de pierres, de gravier et d'autres matériaux charriés. Ainsi, presque rien ne reste en place, ce qui favorise l'ensablement des lacs de retenue.



Situation du barrage de Solis dans la vallée de l'Albula avec la galerie de dérivation schématiquement représentée (source: VAW EPF Zurich, édité).



La production du bois en tant que matériau de construction est nettement moins gourmande en énergie que celle du béton et pèse nettement moins sur le climat: lotissement Unterfeld à Steinen (SZ) (source: Holz100 Schweiz AG).

Construire et assainir avec des émissions de gaz à effet de serre quasi nulles

Pour que la Suisse atteigne ses objectifs climatiques d'ici 2050, les bâtiments doivent non seulement être exploités de manière efficace sur le plan énergétique et respectueuse du climat, mais aussi être construits de la sorte. Avec les bons matériaux et les bons concepts, il est possible de réduire jusqu'à 40 % les émissions de gaz à effet de serre lors de la construction de bâtiments

Les quelque 2.3 millions de bâtiments en Suisse sont responsables d'environ 45 % de la consommation d'énergie et d'un tiers des émissions de gaz à effet de serre du pays. Grâce à des enveloppes de bâtiment étanches et isolées, à une technique du bâtiment efficace et à l'utilisation d'énergies renouvelables, la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre qui en résultent

pour l'exploitation des bâtiments ont constamment diminué au cours des dernières décennies.

De ce fait, le processus de construction a pris plus d'importance: si l'on considère l'ensemble du cycle de vie d'un bâtiment, plus de la moitié de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre peut aujourd'hui être générée

lors de sa construction, selon le standard de qualité et le mode de construction. Ces émissions dites «grises» sont générées lors de la fabrication, du transport et de l'élimination des matériaux de construction ainsi que lors de la construction. Pour que nous puissions atteindre l'objectif ambitieux du «zéro net», la construction et la rénovation doivent être



nettement plus respectueuses du climat.

Créer des bases de données

L'étude ZeroStrat de l'entreprise de conseil intep et de l'EPF de Zurich veut y contribuer. Dans la première phase du projet, les chercheurs ont cherché des matériaux de construction et des éléments de construction qui nuisent le moins possible au climat. Outre la part d'émissions grises, ils ont notamment évalué la disponibilité des matières premières biosourcées nécessaires, leur influence sur la durée de construction ou leur aptitude à la réutilisation ou au recyclage. L'équipe de projet a également examiné une sélection de matériaux de construction innovants, tels que le béton qui stocke le CO₂, les panneaux isolants en herbe et en chanvre ou les éléments préfabriqués en argile, bois et paille. Lorsque les données nécessaires à l'évaluation écologique de ces

matériaux de construction alternatifs faisaient défaut, les chercheurs les ont élaborées en collaboration avec les fabricants.

Un grand potentiel

Dans la deuxième phase du projet, les chercheurs ont examiné dans quelle mesure les émissions de gaz à effet de serre diminuent grâce à l'utilisation de matériaux de construction écologiques. Seul le gros œuvre a été pris en compte, sans l'aménagement intérieur ni les techniques du bâtiment. En prenant l'exemple d'un immeuble d'habitation, ils ont calculé les émissions pour différents matériaux d'isolation pour:

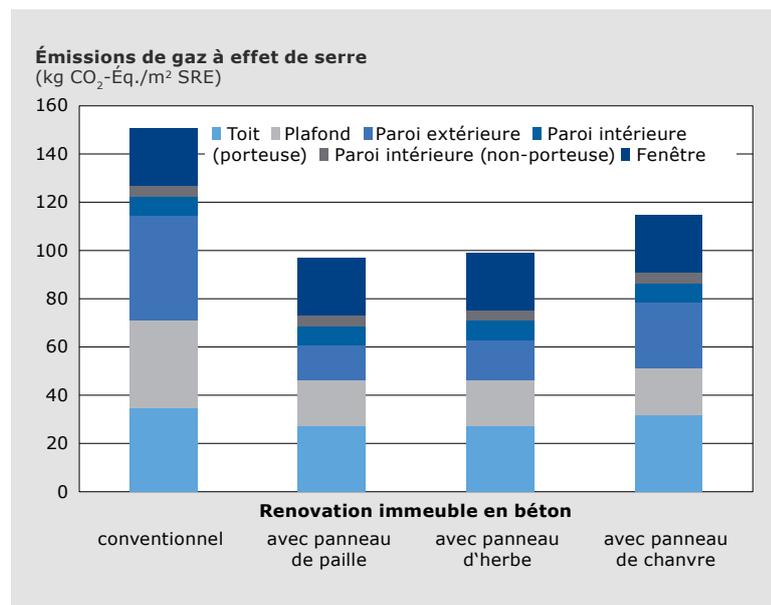
- une nouvelle construction en béton,
- une nouvelle construction en bois et
- la rénovation d'une maison en béton existante.

Il s'est avéré que le potentiel des matériaux isolants alternatifs est important: ils peuvent réduire jusqu'à 40 % les émissions de gaz à effet de serre d'une nouvelle construction brute en béton. Pour une construction en bois, ce chiffre peut atteindre 45 % (voir graphique p. 22).

Réutiliser au lieu de démolir

Mais si les émissions de gaz à effet de serre dans la construction doivent être réduites à presque zéro, l'utilisation de matériaux de construction et d'isolation durables dans les nouvelles constructions ne suffit pas. La stratégie la plus efficace consiste à conserver le plus longtemps possible la structure existante des bâtiments en les réutilisant, en les agrandissant ou en les rénovant. C'est ce que confirment les modèles de calcul pour une rénovation thermique: si une construction brute en béton





Lors de la rénovation thermique d'une construction en béton, les émissions de gaz à effet de serre sont réduites jusqu'à un tiers grâce à l'utilisation de matériaux isolants durables comme la paille, l'herbe ou le chanvre (source: rapport final ZeroStrat, édité).

existante est isolée ultérieurement avec de la laine de verre traditionnelle et continue d'être utilisée, cela génère 65 % d'émissions grises en moins que si un bâtiment de même taille en béton est construit à neuf. Si l'on utilise par exemple des panneaux isolants en paille pour isoler le bâtiment existant, les émissions grises diminuent même de 78 % (voir graphique p. 23).

Mais s'il faut de toute façon reconstruire, un levier important réside dans la conception du bâtiment: ainsi, un seul grand bâtiment avec un nombre optimal d'unités d'habitation s'en sort mieux en termes d'émissions grises que de nombreux petits bâtiments avec le même nombre d'unités d'habitation. En principe, le



Dans l'ensemble, l'étude montre que les matériaux et les solutions pour une construction et une rénovation respectueuses du climat et efficaces sur le plan énergétique existent déjà et que leur potentiel est important. Il s'agit maintenant de lever les obstacles à la mise en œuvre en améliorant l'information (source: Shutterstock).

rapport entre l'enveloppe du bâtiment et la surface de référence énergétique devrait être le plus faible possible. Par surface de référence énergétique, on entend la somme de toutes les surfaces qui sont chauffées ou climatisées. Une construction légère, dont seuls les éléments porteurs sont en bois, en acier ou en béton, présente un meilleur bilan de gaz à effet de serre qu'une construction massive, dont les murs et les plafonds sont entièrement réalisés dans un seul matériau. La minimisation des sous-sols et la proportion de fenêtres sur la façade ont également une grande influence.

Obstacles à l'utilisation de matériaux de construction alternatifs

Les matériaux destinés à la construction respectueuse du climat et des ressources sont certes disponibles sur le marché, mais leur utilisation reste timide. Afin de comprendre pourquoi, l'équipe de projet a interrogé des maîtres d'ouvrage, des architectes et des collaborateurs de grandes entreprises de construction sur les obstacles à l'utilisation de produits de construction durables au cours de la troisième

phase du projet. L'un des principaux résultats de ces enquêtes est que les informations pertinentes sur les nouveaux matériaux et éléments de construction respectueux du climat sont encore parfois difficiles à trouver et à interpréter. Pour y remédier, il faut par exemple

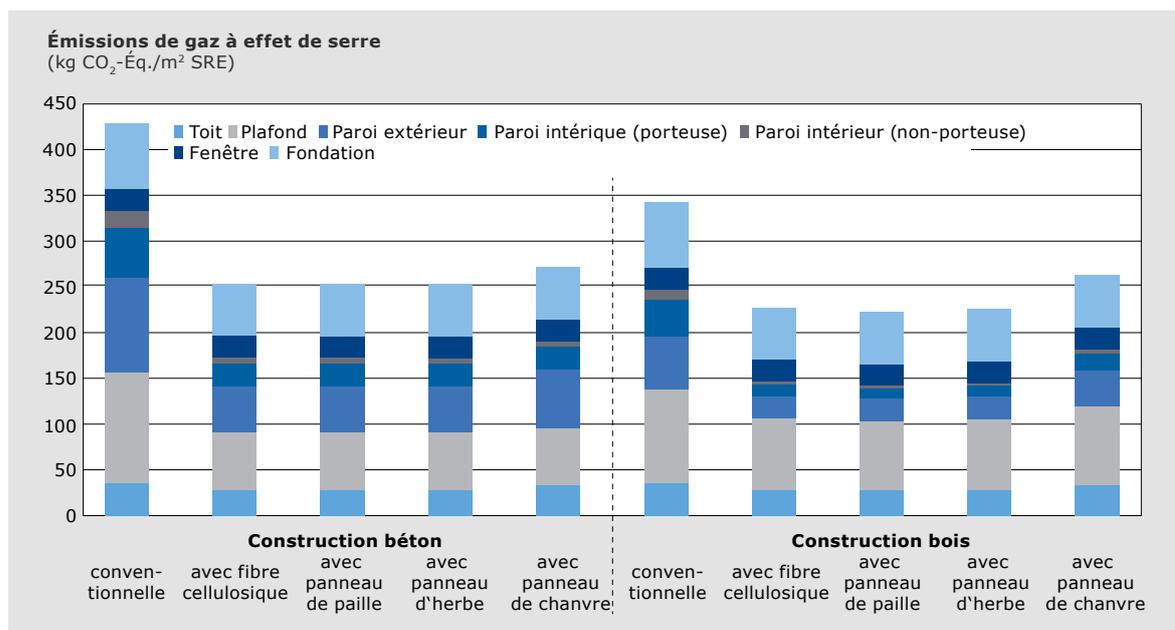
- davantage de résultats de tests indépendants et reconnus,
- des données fiables sur les émissions économisées,
- des informations sur les avantages par rapport aux matériaux éprouvés ou sur la conformité avec les labels de construction.

Une autre constatation est qu'il ne suffit pas de faire connaître les possibilités offertes par les matériaux et les méthodes de construction pauvres en gaz à effet de serre à l'aide d'exemples individuels construits. Pour que l'on construise à l'avenir de manière plus respectueuse du climat, il faut également fournir aux professionnels des rapports d'expérience montrant comment les principes de la construction respectueuse du climat peuvent être intégrés dans le processus de planification et de

construction. De même, il faut expliquer quelles sont les bases de décision déterminantes pour le choix des matériaux et comment toutes les parties prenantes pertinentes peuvent être impliquées. En effet, la communication et l'échange interdisciplinaire dans les projets de construction sont décisifs pour la réussite de l'utilisation de produits de construction innovants. Toutes les parties prenantes doivent développer une vision commune dès les premières phases du projet.

De nombreuses personnes interrogées sont en outre d'avis que les objectifs climatiques ne peuvent guère être atteints sur la seule base du volontariat. Ils souhaitent donc des incitations économiques ou des directives plus strictes pour la construction durable.

Dans l'ensemble, l'étude montre que les matériaux et les solutions pour une construction et une rénovation respectueuses du climat et efficaces sur le plan énergétique existent déjà et que leur potentiel est important. Il s'agit maintenant de lever les obstacles à la mise en œuvre en améliorant l'information.



Les matériaux de construction respectueux du climat permettent de réduire de manière significative les émissions de gaz à effet de serre lors de la construction de bâtiments. Cela vaut aussi bien pour les constructions en béton (cinq colonnes à gauche) que pour les constructions en bois (cinq colonnes à droite). Le graphique le montre à l'exemple de différents matériaux d'isolation (source: rapport final ZeroStrat, édité).

Recharger les véhicules électriques sans surcharger le réseau

La recharge rapide des véhicules électriques nécessite beaucoup de courant en peu de temps. Pour que le réseau électrique puisse fournir ces prestations, il doit être développé. Un projet pilote a donc étudié comment le stockage des batteries et une recharge plus flexible pouvaient soulager le réseau

Une électrification du secteur des transports est nécessaire pour en limiter les émissions de gaz à effet de serre. Pour y parvenir, il faut notamment un réseau bien développé de stations de recharge publiques ce qui pose des défis au réseau électrique. En particulier, les réseaux de distribution locaux et régionaux ne sont pas conçus pour absorber les pointes de consommation causée par des stations de recharge rapide qui consomment en peu de temps des puissances élevées.

Stockage intégré des batteries

Comment réduire la charge du réseau due aux stations de recharge rapide sans qu'il soit nécessaire de procéder à une extension coûteuse et complexe? Un projet de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), soutenu par l'Office fédéral de l'énergie, s'est justement penché sur cette question. Pour ce

faire, l'équipe de projet a installé sur le campus de l'EPFL une station de recharge rapide accessible au public, d'une puissance totale de 172 kW. Celle-ci peut charger deux véhicules électriques (VE) usuels en 15 minutes environ, de manière à ce que l'énergie livrée soit ensuite suffisante pour un trajet de plus de 100 km.

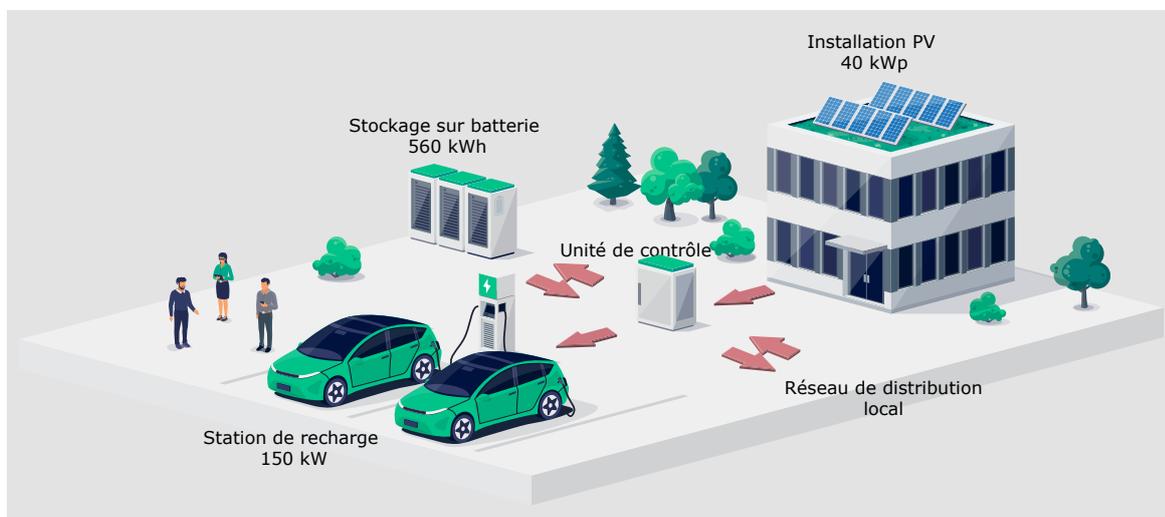
L'installation comprend également un grand accumulateur de batterie d'une capacité de 560 kWh ainsi qu'une installation photovoltaïque d'une puissance maximale de 40 kW (voir graphique ci-dessous). Des algorithmes développés par l'équipe de projet assurent une coordination optimale entre l'installation photovoltaïque, la batterie et la station de recharge. Pour cela, ils prédisent de manière fiable la production photovoltaïque et les besoins en électricité des stations de recharge. Ainsi, les VE

peuvent être rechargés sans que le réseau ne soit surchargé.

Moins d'écart

Les résultats du projet prouvent que de telles stations de recharge pilotables avec stockage de la batterie offrent des avantages mesurables. Les exploitants de réseau doivent à chaque fois indiquer leurs plans pour l'achat d'énergie au réseau supérieur, et tout écart par rapport à ce plan entraîne des coûts pour l'équilibrage des réseaux. Les charges imprévisibles des stations de recharge rapide entraînent souvent de tels écarts. L'étude montre qu'elles peuvent être réduites jusqu'à un facteur 10 grâce au contrôle des stations combiné à l'utilisation de batteries.

Cela ne peut toutefois pas se faire sans investissements dans l'infrastructure, car des batteries de sto-



Une commande intelligente coordonne les différents composants de la station de recharge de manière à utiliser le moins possible d'électricité du réseau de distribution local pour la recharge (source: B. Vogel / Shutterstock).





La station de recharge rapide sur le campus de l'EPFL peut fournir en 15 minutes suffisamment de courant à deux voitures électriques pour parcourir 100 km (source: MESH4U).

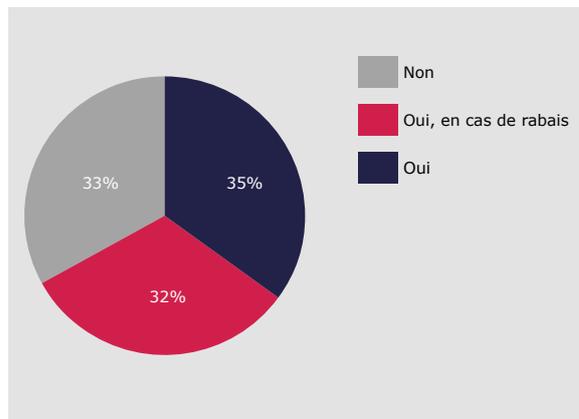
ckage sont nécessaires et sont encore assez chères aujourd'hui. L'équipe de projet est néanmoins convaincue que de tels systèmes peuvent être rentables si les accumulateurs sont bien dimensionnés. De plus, la rentabilité peut être augmentée si les batteries fournissent d'autres prestations utiles au réseau. Cela signifie que la flexibilité de la batterie à prélever ou à injecter de l'électricité peut être utilisée pour soutenir le réseau lorsqu'elle n'est pas utilisée pour la charge. Elle peut par exemple minimiser les pointes de consommation

pour le gestionnaire du réseau de distribution, ou encore fournir des services pour stabiliser le réseau national. Selon le cas, différentes parties prenantes comme Swissgrid ou les gestionnaires de réseau rémunèrent ces services.

Des utilisateurs flexibles sont demandés

Les chercheurs se sont également penchés sur le comportement des utilisateurs. Ils ont demandé aux utilisateurs de la station de recharge rapide si et à quelles conditions ils

accepteraient une certaine flexibilité horaire pour la recharge de leur VE. Selon l'enquête, environ deux tiers d'entre eux sont prêts à prolonger le processus de recharge de quelques minutes (voir graphique ci-dessous) afin que la station de recharge puisse fonctionner de manière plus adaptée au réseau. Mais la moitié d'entre eux attendent en contrepartie un rabais sur le prix de l'électricité. L'équipe de recherche propose donc un modèle dans lequel la tarification encourage la flexibilité de la recharge.



(À gauche) On a demandé à environ 100 utilisateurs de la station de recharge rapide s'ils accepteraient de prolonger le processus de recharge de quelques minutes afin que la station de recharge puisse fonctionner de manière plus respectueuse du réseau. Un tiers a refusé, un peu plus d'un tiers a accepté et un peu moins d'un tiers a accepté à condition qu'une réduction soit accordée en contrepartie (source: MESH4U, édité).

(À droite) C'est dans ce conteneur que se trouve l'accumulateur de la batterie. Avec sa capacité de 560 kWh, il peut stocker suffisamment d'électricité provenant de l'installation photovoltaïque et/ou du réseau pour soutenir la recharge des voitures électriques et soulager ainsi le réseau électrique (source: MESH4U).



Avec un système de gestion de l'énergie, l'électricité produite par une installation photovoltaïque peut être utilisée de manière optimale pour charger un véhicule électrique (source: Remdiaprod).

Aider la gestion de l'énergie à prospérer

Pour que notre approvisionnement en électricité continue à fonctionner de manière fiable à l'avenir, l'électricité doit être utilisée de manière raisonnable et efficace. Les systèmes de gestion de l'énergie (SGE) peuvent y contribuer, mais ils sont encore trop peu utilisés aujourd'hui. Une étude dresse un état des lieux et formule des recommandations.

Les SGE sont une nouvelle technique qui veille à ce que l'énergie soit utilisée de manière efficace et raisonnable. Dans la pratique, cela signifie par exemple: Ils commandent l'installation d'eau chaude de manière à ce que la pompe à chaleur charge le réservoir lorsque l'installation photovoltaïque sur le toit fournit justement beaucoup d'électricité. Il en va de même pour la charge des voitures électriques ou le fonctionnement des gros consommateurs comme les machines à laver ou les sèche-linge. Cela profite d'une part aux habitants, par exemple parce que l'électricité produite sur leur propre toit est moins chère que celle du réseau. Mais cela profite également à l'approvisionnement public en électricité, car les pics de consommation sont lissés et le réseau est

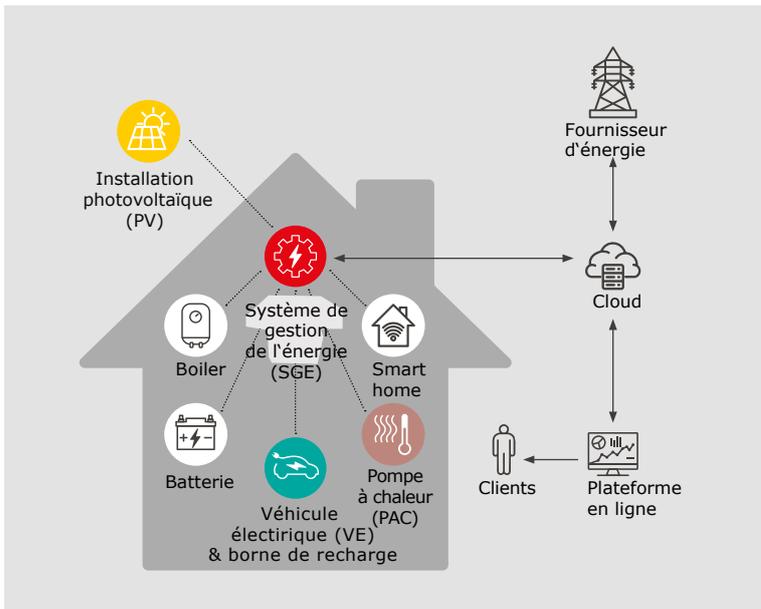
ainsi stabilisé. C'est important, car la part de l'électricité solaire et éolienne dépendante des conditions météorologiques et des saisons augmente et l'approvisionnement en chaleur de nos maisons est de plus en plus électrifié.

Une enquête montre la diffusion et le potentiel

Dans l'optique d'un approvisionnement énergétique sûr et efficace, les SGE devraient donc être utilisés le plus largement possible. Le projet de recherche InnoNet-Energy s'est notamment penché sur les moyens d'y parvenir. Il a été financé par l'Office fédéral de l'énergie et mis en œuvre par l'École polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) en collaboration avec Energie Zukunft Schweiz et Protoscar. Cette étude a

examiné dans quelle mesure les SGE sont déjà répandus dans les bâtiments d'habitation, pourquoi et par qui ils ont été achetés - ou pas. Pour ce faire, 4850 ménages ont été interrogés, qui ont fait l'acquisition d'une installation photovoltaïque et/ou d'un véhicule électrique entre 2019 et 2022.

Parmi les personnes interrogées, 16 % disposent d'un SGE. La plupart du temps, il a été acheté en même temps que l'installation photovoltaïque et la voiture électrique ou la pompe à chaleur. Les propriétaires du SGE ont pour objectif de promouvoir les énergies renouvelables, d'optimiser leurs besoins et leurs coûts énergétiques et de devenir plus indépendants en matière d'énergie.



Un système de gestion de l'énergie veille à ce que l'énergie soit utilisée efficacement et judicieusement dans un bâtiment. Le propriétaire en profite en réduisant ses coûts énergétiques. L'approvisionnement public en électricité en profite, car il atténue les pics de puissance dans le réseau et améliore ainsi la stabilité (source: EPFL, édité)

tifier leurs systèmes selon des labels indépendants et facilitent ainsi le choix des personnes intéressées.

- La Confédération devrait faire avancer l'harmonisation des normes techniques.
- Les associations professionnelles peuvent y contribuer en aidant les fournisseurs à assumer leur rôle d'intermédiaires techniques et d'intégrateurs de systèmes.

Mais les fournisseurs d'énergie locaux, les communes et les organisations indépendantes du secteur peuvent également apporter leur aide, par exemple en organisant des réunions d'information pour présenter les avantages et la faisabilité du SGE.

Comment les encourager?

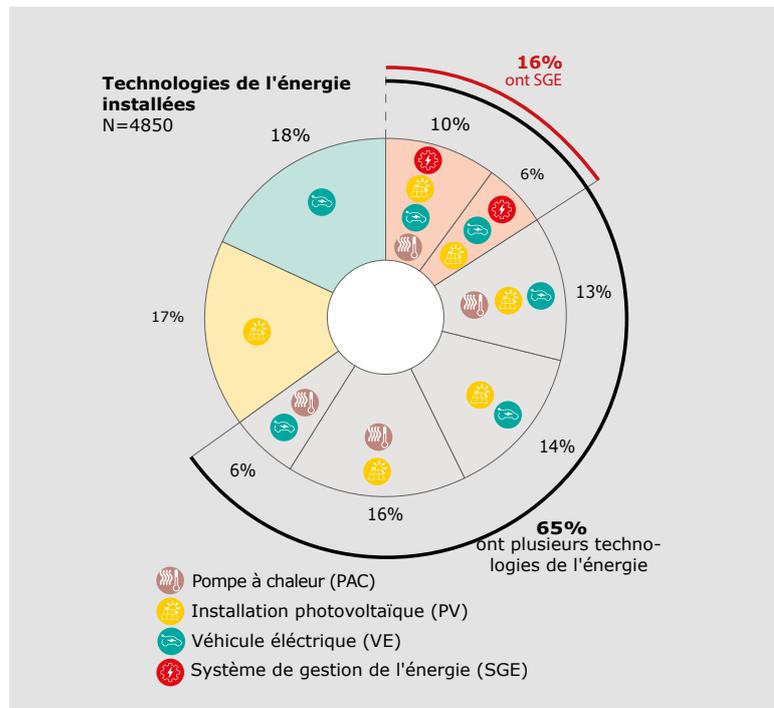
Comme 65 % des personnes interrogées utilisent une combinaison de voiture électrique, de photovoltaïque ou de pompe à chaleur, il serait judicieux pour elles d'optimiser leur consommation d'énergie et donc d'utiliser un SGE. Qu'est-ce qui a fait que seulement 16 % des personnes interrogées en ont acheté un?

Les personnes interrogées ont cité comme facteurs favorisant leurs propres connaissances techniques, l'accès à des informations sur de tels systèmes ainsi que la confiance et la proximité géographique des fournisseurs. Les obstacles étaient surtout des doutes concernant la rentabilité ainsi que l'absence de normes techniques harmonisées ou de labels auxquels on aurait pu s'orienter. Le manque de clarté des fournisseurs qui intègrent le SGE dans la technique du bâtiment a également été perçu comme un facteur aggravant. Sur la base des résultats de l'étude, les auteurs recommandent notamment les points suivants pour faire progresser l'utilisation des SGE:

- Les fournisseurs du SGE doivent communiquer leurs

coûts et leurs avantages de manière transparente et compréhensible pour les non-initiés.

- Il serait en outre utile que les fournisseurs fassent cer-



Les propriétaires d'un système de gestion de l'énergie possèdent généralement aussi une installation photovoltaïque, un véhicule électrique et une pompe à chaleur (source: EPFL, édité).





Coopération internationale

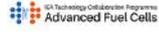
La coopération internationale dans la recherche énergétique occupe une place privilégiée en Suisse. Au plan institutionnel, l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) coordonne ses programmes de recherche avec les activités internationales afin d'en exploiter les synergies et d'éviter des doublons. Une importance 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, qui s'appellent (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 le plan stratégique européen pour les technologies énergétiques (SET-Plan), les European Partnerships (auparavant ERA-NET), les plates-formes technologiques européennes et les initiatives technologiques conjointes (JTI). Dans plusieurs domaines thématiques (réseaux intelligents, géothermie, hydrogène), la Suisse entretient une étroite coopération multilatérale avec certains pays.

Les accumulateurs aquifères utilisent des couches de roches aquifères naturelles - appelées aquifères - situées à quelques centaines de mètres de profondeur comme accumulateurs de chaleur saisonniers. Dans le cadre du projet P2ATES soutenu par l'OFEN, des scientifiques de l'Université de Genève étudient le potentiel des accumulateurs aquifères pour le réseau de chauffage urbain genevois. L'idée est de stocker de manière saisonnière une chaleur très avantageuse en été au moyen de pompes à chaleur et de la chaleur résiduelle issue de l'incinération des ordures ménagères. A Berne, le fournisseur d'énergie de la ville, Energie Wasser Bern, teste près de la centrale énergétique Forsthaus un géo-accumulateur qui permet de stocker en hiver les excédents de chaleur estivaux de l'usine d'incinération des ordures ménagères dans des couches de grès aquifères situées entre 240 et 500 m de profondeur. Le trou de forage est représenté à gauche. Selon la planification, l'accumulateur a une capacité de 12 à 15 GWh (source: Energie Wasser Bern).



Participation aux programmes de collaboration technologique de l'AIE

	Energy Conservation through 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 (ieahs.org)		Advanced Fuel Cells (ieafuelcell.com)
	Clean and Efficient Combustion (ieacombustion.com)		Advanced Motor Fuels (iea-amf.org)
	Hybrid & Electric Vehicles Technologies (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)		

Participation aux European Partnerships

	Accelerating CCS Technologies (act-ccs.eu)		Bioenergy (eranetbioenergy.net)
	Concentrated Solar Power (csp-eranet.eu)		Geothermica (geothermica.eu)
	Materials (m-era.net)		Smart Energy Systems (eranet-smartenergysystems.eu)
	Solar (solar-era.net)		

D'autres coopérations internationales

	Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking		DACH-Cooperation Smart grids
	International Partnership for Geothermal Technology		Clean Energy Transition Partnership (cetpartnership.eu)
	Driving Urban Transitions (dutpartnership.eu)		

Avec le changement climatique, les besoins en climatisation et l'importance des îlots de chaleur urbains vont augmenter de manière significative. Les façades des bâtiments peuvent apporter une contribution essentielle à l'atténuation de cette problématique. D'une part, en intégrant des surfaces photovoltaïques pour la production d'électricité destinée au refroidissement, d'autre part, en intégrant de la végétation avec un effet de refroidissement dans l'espace extérieur. Dans le cadre du projet GreenPV soutenu par l'OFEN, quatre systèmes de façade ont été mesurés sur le campus de la HSLU (de gauche à droite): végétation liée au sol, végétation liée au mur, installation PV opaque, installation PV transparente. Les chercheurs recommandent de combiner les deux types d'utilisation: il peut ainsi être judicieux de végétaliser la partie inférieure du bâtiment, qui est proche de l'homme et plus ombragée, et d'utiliser la partie supérieure pour produire de l'électricité solaire. Des calculs ont montré que les façades photovoltaïques orientées au sud, mais aussi à l'est et à l'ouest, présentent le meilleur écobilan en termes d'émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie (source: rapport final GreenPV).



Impressum:
Office fédéral de l'énergie OFEN
CH-3003 Berne
alice.feehan@bfe.admin.ch



Office fédéral de l'énergie OFEN
CH-3003 Berne

www.recherche-energetique.ch