



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

Recherche énergétique et innovation

Rapport 2025



Editorial

La recherche énergétique est un élément central du développement du système énergétique suisse. Elle comprend la mise à disposition des bases scientifiques, la recherche appliquée ainsi que les questions liées aux systèmes, à l'économie et à la société. L'objectif est de générer de nouvelles connaissances technologiques, d'approfondir la compréhension des technologies et des systèmes énergétiques et, ainsi, de fournir des bases solides pour les développements futurs. Pour l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), le soutien coordonné de projets de recherche sélectionnés dans le domaine de la recherche énergétique constitue une mission importante, qui est menée en complément d'autres instruments d'encouragement nationaux. Le concept de recherche énergétique 2025–2028 définit les axes thématiques sur lesquels s'orientent les activités de recherche soutenues par l'OFEN.

Il s'agit notamment du développement et de l'expérimentation de technologies énergétiques, des questions d'intégration des énergies renouvelables dans le système, de la résilience du système énergétique ainsi que des interactions entre différents secteurs. En complément, le concept tient également compte des perspectives des sciences sociales, notamment en ce qui concerne la mise en œuvre et l'application de nouvelles solutions technologiques.

Les projets présentés dans cette brochure illustrent de manière exemplaire la diversité de la recherche énergétique soutenue par l'Office fédéral de l'énergie et les thèmes actuellement traités dans le cadre du mandat de promotion de l'OFEN. Les codes QR ainsi que les liens supplémentaires renvoient vers des informations complémentaires et des contenus approfondis.

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

(Image de couverture) Une surélévation de trois étages, construite principalement à partir d'éléments de construction réutilisés, a été ajoutée à la partie frontale (en allemand « Kopfbau ») du hall historique 118 du site Sulzer à Winterthour. L'objectif du projet K.118 était de réduire au minimum les émissions liées à la construction et la consommation de ressources : environ 60 % des gaz à effet de serre et 500 tonnes de matériaux primaires ont ainsi pu être économisés par rapport à une nouvelle construction. La structure porteuse, l'escalier extérieur en acier, les fenêtres et le revêtement de sol, entre autres, ont été réutilisés. Des matériaux naturels tels que la paille, l'argile et le bois complètent les éléments de construction réutilisés. Le béton n'a été utilisé que là où il était inévitable pour des raisons de statique, d'isolation acoustique ou de protection contre l'incendie. Pour en savoir plus sur l'état actuel de la recherche dans le domaine des émissions net-zéro de gaz à effet de serre dans le domaine du bâtiment et sur le projet de recherche NN-THGG, consultez l'article en page 11 (source : Baubüro in situ).

Sommaire

Editorial	2
Sommaire	3
Vue d'ensemble	
Rétrospective de la recherche énergétique de l'OFEN	4
Promotion de la technologie et de l'innovation	5
Programmes de recherche énergétique thématiques	6
Les consortiums SWEET mettent en commun leurs connaissances pour atteindre l'objectif net-zéro	6
Statistiques de la recherche énergétique en Suisse	8
Net-zéro émissions de gaz à effet de serre dans le domaine du bâtiment – état des lieux de la recherche	11
Highlights	
Systèmes photovoltaïques « plug-and-play » : de petites installations au potentiel énorme	14
L'énergie hydraulique joue un rôle de stabilisateur	16
Méga-chargeurs pour camions électriques	18
Mieux étudier et exploiter l'énergie souterraine	22
Alternatives aux radiateurs de chauffage	24
Les acteurs suisses investissent dans la transition énergétique – mais surtout à l'étranger	28
Affaires internationales	
Coopération internationale	30
Participation aux Technology Collaboration Programmes de l'AIE	31
Participation aux programmes de coopération européens	31
D'autres coopérations internationales	31

Rétrospective de la recherche énergétique de l'OFEN en 2025

L'année 2025 a été marquée par d'importants changements structurels et financiers pour la recherche énergétique de la Confédération. L'arrêté fédéral relatif à SWEETER (« SWiss research for the EnErgy Transition and Emissions Reduction ») a établi un nouveau cadre pour la recherche énergétique axée sur les systèmes. SWEETER s'inscrit dans la continuité de l'instrument d'encouragement SWEET. Les appels d'offres sont désormais également lancés en collaboration avec l'OFEV, les émissions jouant également un rôle central dans ces appels d'offres.

Parallèlement, le financement des nouveaux projets pilotes et de démonstration dans le cadre du programme P+D a été supprimé. Cet instrument a joué pendant de nombreuses années un rôle central dans l'expérimentation de technologies innovantes en conditions réelles. Sa suppression modifie le pay-

sage de l'encouragement et, par conséquent, le soutien apporté aux projets situés à l'interface entre la recherche et la mise sur le marché.

De plus, le budget de la recherche énergétique de l'OFEN a été réduit d'environ 10 % en 2025. Cet ajustement a nécessité une hiérarchisation accrue au sein des portefeuilles de recherche et une concentration sur des thèmes présentant une importance stratégique élevée pour la mise en œuvre de la stratégie énergétique.

Dans le cadre de ces évolutions, la CORE – la Commission fédérale pour la recherche énergétique – joue un rôle consultatif important. Elle soutient la Confédération dans l'orientation stratégique de la recherche énergétique et contribue à la coordination entre les acteurs concernés.



L'année 2025 du point de vue de la Commission fédérale pour la recherche énergétique CORE

Association à Horizon Europe : l'un des événements les plus importants pour les chercheurs suisses en 2025 a été l'association à part entière aux programmes d'encouragement de l'UE – Horizon Europe, Euratom et le programme Digital Europe, une étape décisive également pour la recherche énergétique. Le financement direct et la coordination des projets, ainsi que la participation à la définition des thèmes, revêtent une importance particulière.

Renforcer la coordination : la CORE a donné l'impulsion nécessaire à une meilleure coordination entre la recherche sectorielle, le domaine des EPF et les agences de financement. En 2025, le Conseil fédéral a adopté les adaptations correspondantes – élaborées par le SERI – afin d'éviter les doublons et de favoriser les échanges.

Contribuer à l'élaboration des programmes d'encouragement : CORE accompagne les programmes de recherche de l'OFEN et s'est penchée en 2025 sur les programmes de recherche « Énergie éolienne », « Électricité » et le concept « CCUS/NET » (Carbon Capture, Use and Sto-

rage ; Negative Emission Technologies), ainsi que sur les programmes de recherche « Géoénergie » et « Processus industriels », pour lesquels elle a formulé des commentaires. Les programmes de recherche s'alignent sur les axes prioritaires et les objectifs stratégiques du concept de recherche énergétique. La CORE a été associée à la définition des thèmes au sein de SWEET.

Position sur le programme d'allègement budgétaire 2027 : la CORE s'est prononcée en faveur d'une réduction modérée de la recherche énergétique, mais a mis en garde contre la suppression du programme pilote et de démonstration (P+D). Elle a proposé à la place une réduction budgétaire de 40 % afin de garantir l'innovation et le transfert de technologies.

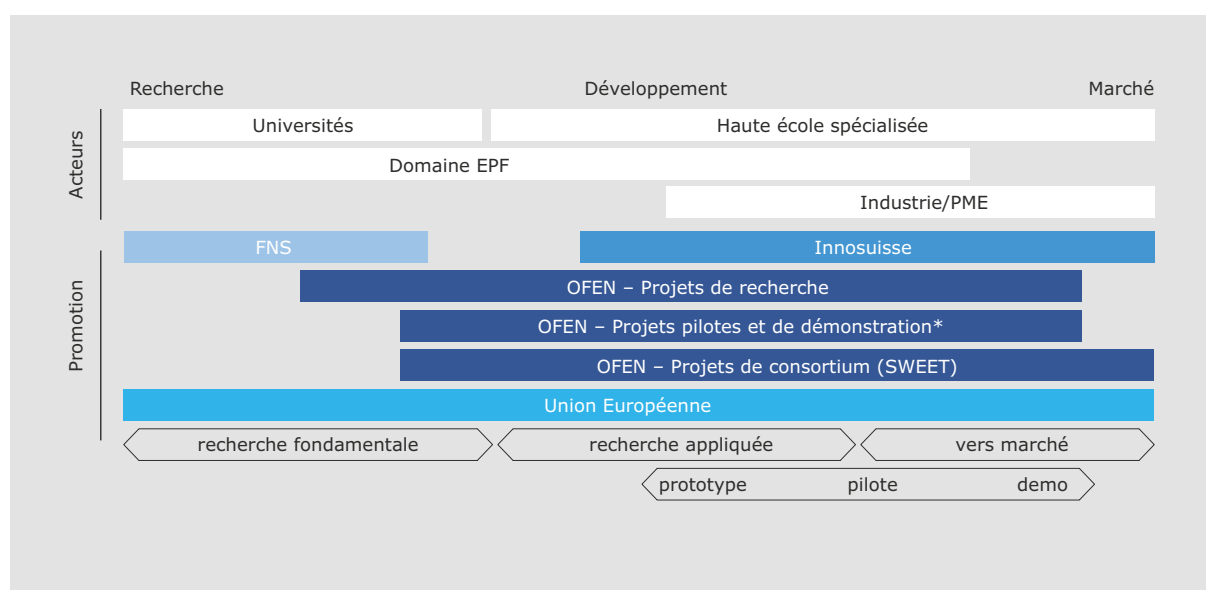
Par ces activités, la CORE s'engage à développer la recherche énergétique en Suisse de manière prospective et orientée vers la pratique. Elle tiendra compte des évolutions actuelles dans l'élaboration du prochain concept de recherche énergétique.



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 2025, quelque 47 millions de francs étaient disponibles et environ 500 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'allocation 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.

Les consortiums SWEET mettent en commun leurs connaissances pour atteindre l'objectif net-zéro

Le programme d'encouragement SWEET soutient des consortiums de recherche interdisciplinaires et transdisciplinaires qui se penchent sur des questions centrales relatives à la stratégie énergétique 2050 et à la stratégie climatique à long terme de la Suisse, proposent des solutions et génèrent des innovations. Les consortiums sont sélectionnés par le biais d'appels d'offres thématiques dans le cadre des trois instruments d'encouragement SWEET, SWEETER et SOUR.

Six appels d'offres SWEET ont été lancés, quatre projets SOUR sont achevés et dix consortiums sont à l'œuvre. Le plus récent, le consortium ACHIEVE (Pathways to ACHIEVE net-zero target for hard-to-

abate Swiss emissions), a démarré ses travaux en 2025. Il se concentre sur la réduction des émissions difficiles à éviter dans des secteurs tels que l'agriculture et l'industrie. Sous la direction de l'Empa, les chercheurs élaborent, en collaboration avec des acteurs de la société civile, du monde politique et de l'industrie, des feuilles de route solides pour atteindre l'objectif de net-zéro. Parallèlement, des solutions durables doivent être développées pour le captage, l'utilisation, le transport et le stockage du CO₂, ainsi que pour l'élimination du CO₂.

Pour la deuxième fois depuis le lancement du programme d'encouragement, les consortiums SWEET ont élaboré une synthèse commune sous la direc-



tion du SWEET Office et du Réseau pour la recherche transdisciplinaire (td-net) des Académies suisses des sciences. L'objectif est de regrouper les résultats de manière transversale et d'en déduire des recommandations ciblées, solides et aussi concrètes que possible pour atteindre les objectifs énergétiques et climatiques de 2050. À cette fin, les consortiums soumettent des résultats et des recommandations pertinents, qui sont discutés et synthétisés lors d'une réunion commune. En 2025, la synthèse a donné lieu à la formulation de 25 recommandations au total sur différents thèmes, destinées aux milieux politiques, administratifs, économiques et sociaux. Ainsi, les consortiums SWICE, PATHFNDR et SURE appellent par exemple les cantons et les entreprises d'approvisionnement en énergie à promouvoir des systèmes intégrés comprenant du photovoltaïque, des

pompes à chaleur, des stations de recharge bidirectionnelles, des systèmes de stockage domestiques et d'autres technologies flexibles. EDGE, SURE et CoSi montrent aux communes, aux fournisseurs d'énergie et aux associations comment ils peuvent renforcer l'acceptation des énergies renouvelables décentralisées : il est important de mettre en avant les avantages pour la sécurité d'approvisionnement et la politique énergétique et de permettre à la population locale de participer à l'élaboration des solutions – les groupes sous-représentés doivent également être impliqués. Les recommandations ont été présentées à l'occasion de l'Energy Week à l'ETH et discutées avec les parties prenantes concernées.

Irene Bättig, Sprachwerk GmbH

DeCarbCH



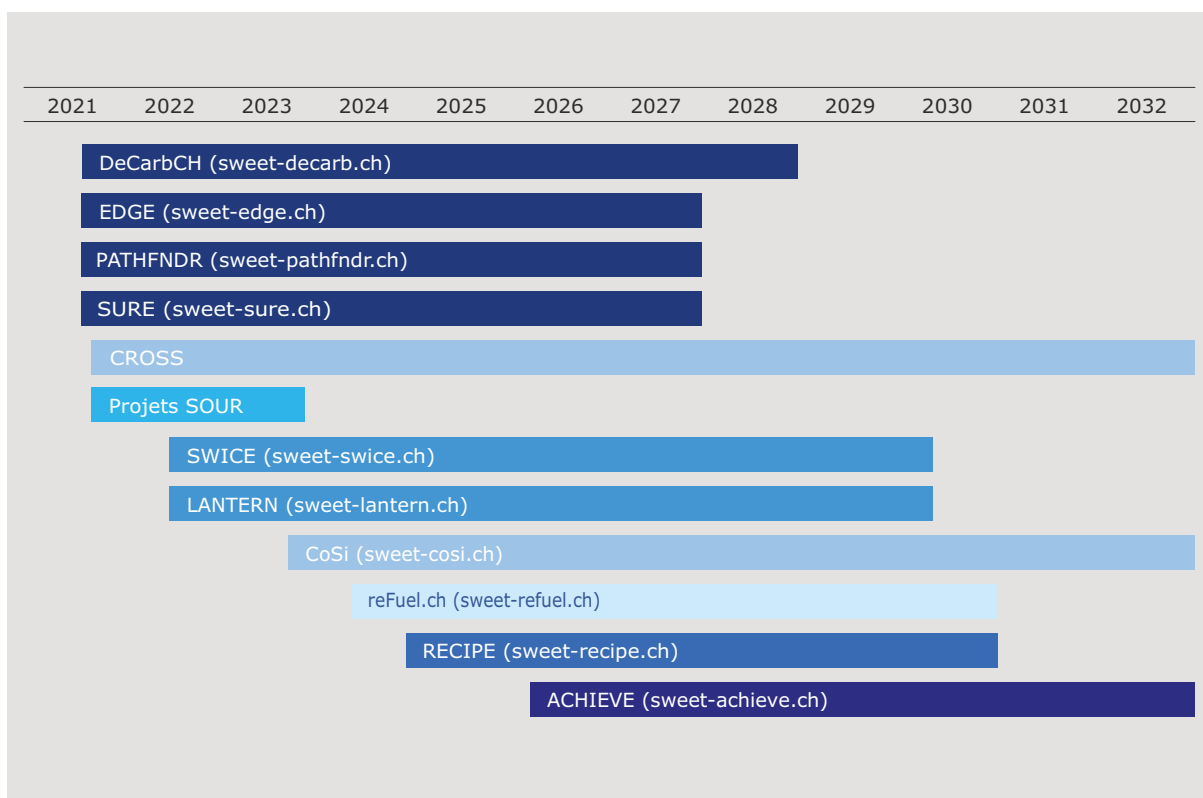
EDGE



PATHFNDR



SURE



SWICE



LANTERN



CoSi



reFuel.ch



ACHIEVE

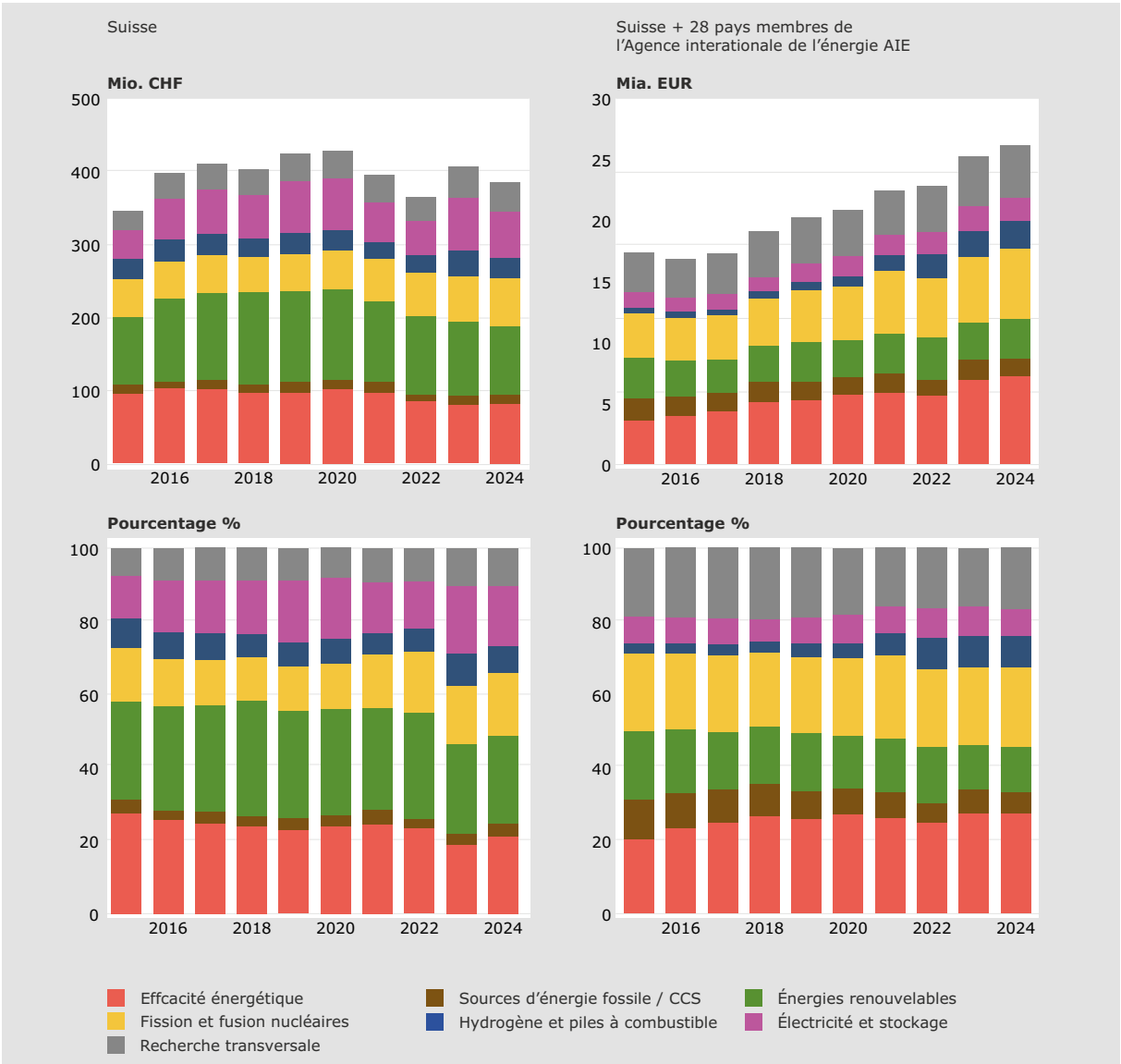


Aperçu des consortiums des appels d'offres clôturés, en cours et prévus dans le cadre du programme d'encouragement SWEET. Le consortium RECIPE a commencé ses travaux en 2024. Il identifiera les risques et développera des scénarios de vulnérabilité pour les infrastructures interdépendantes de l'énergie et des communications de la Suisse. Les consortiums issus d'appels d'offres antérieurs sont toujours actifs : DeCarbCH, EDGE, PATHFNDR 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.

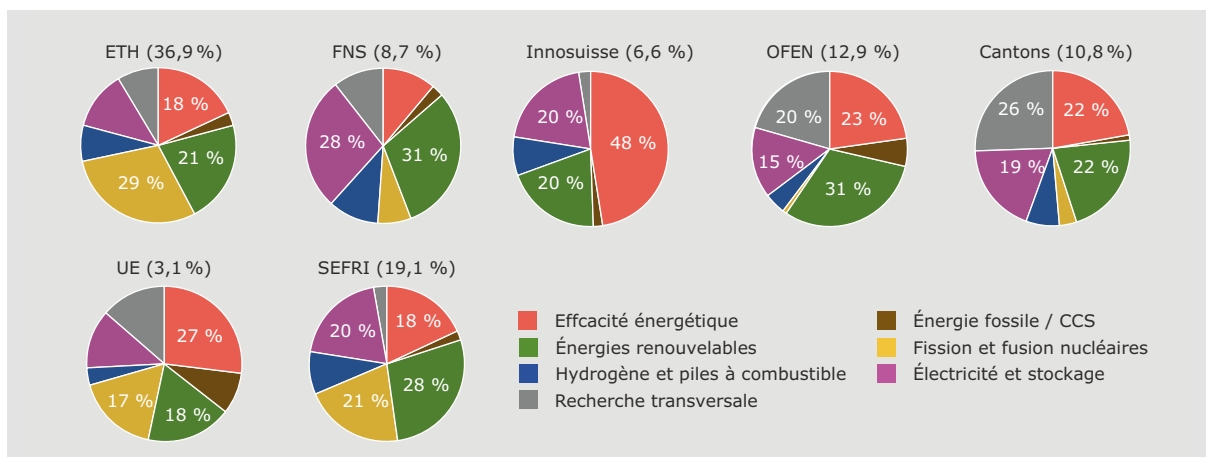
Statistiques de la recherche énergétique en Suisse

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

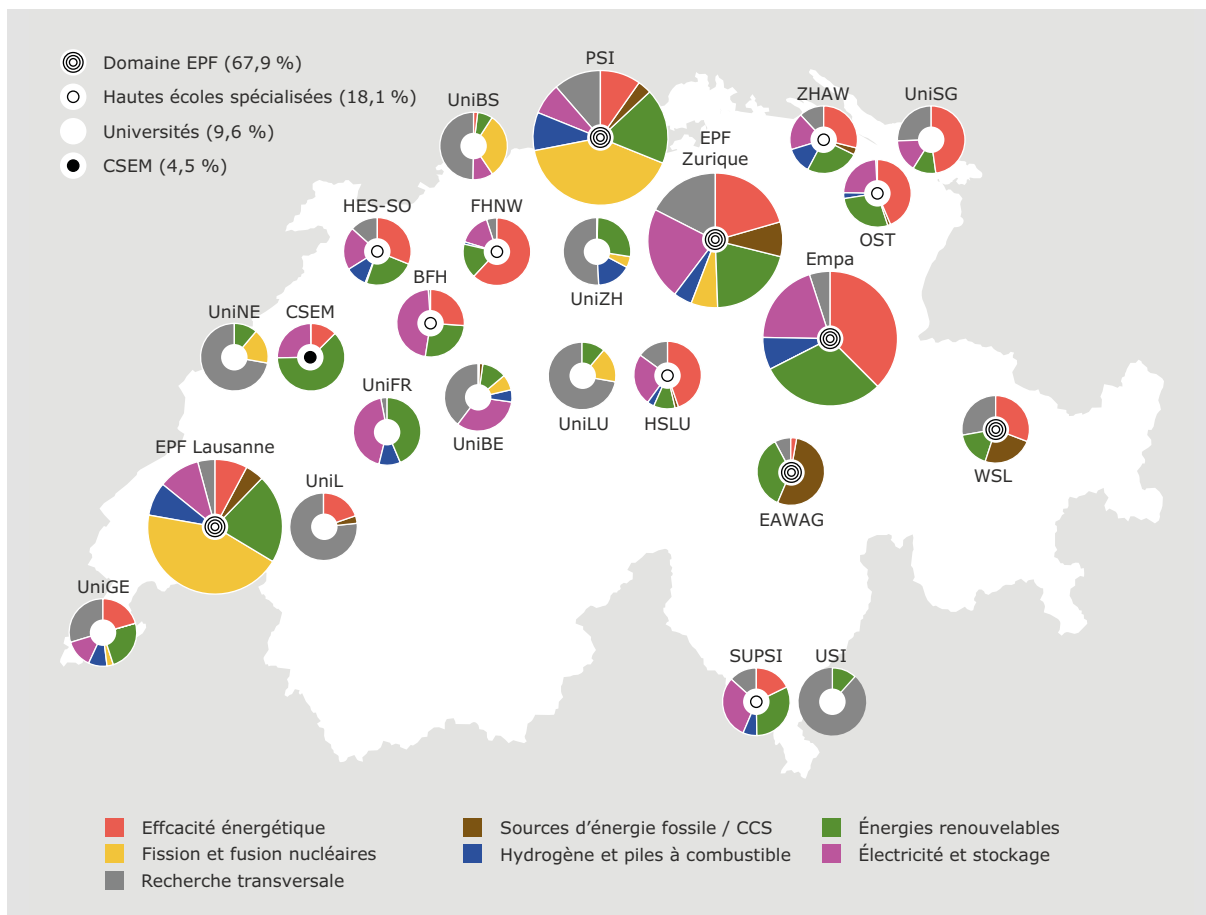
site internet des institutions concernées. En 2024, les dépenses publiques pour la recherche énergétique en Suisse se sont élevées à 384,5 millions de francs. Avec environ 36,9 %, le domaine des EPF a apporté la plus grande contribution. Le SEFRI occupait la deuxième place avec 19,1 %, suivi de l'OFEN avec 12,9 % et des cantons avec 10,8 %. Sur les 49,8 millions de francs dépensés par l'OFEN, environ 11,3 millions de francs sont allés à des projets d'efficacité énergétique, 15,3 millions de francs à des projets d'énergies renouvelables et 10,1 millions de francs à des projets dans le domaine des sciences humaines et sociales.



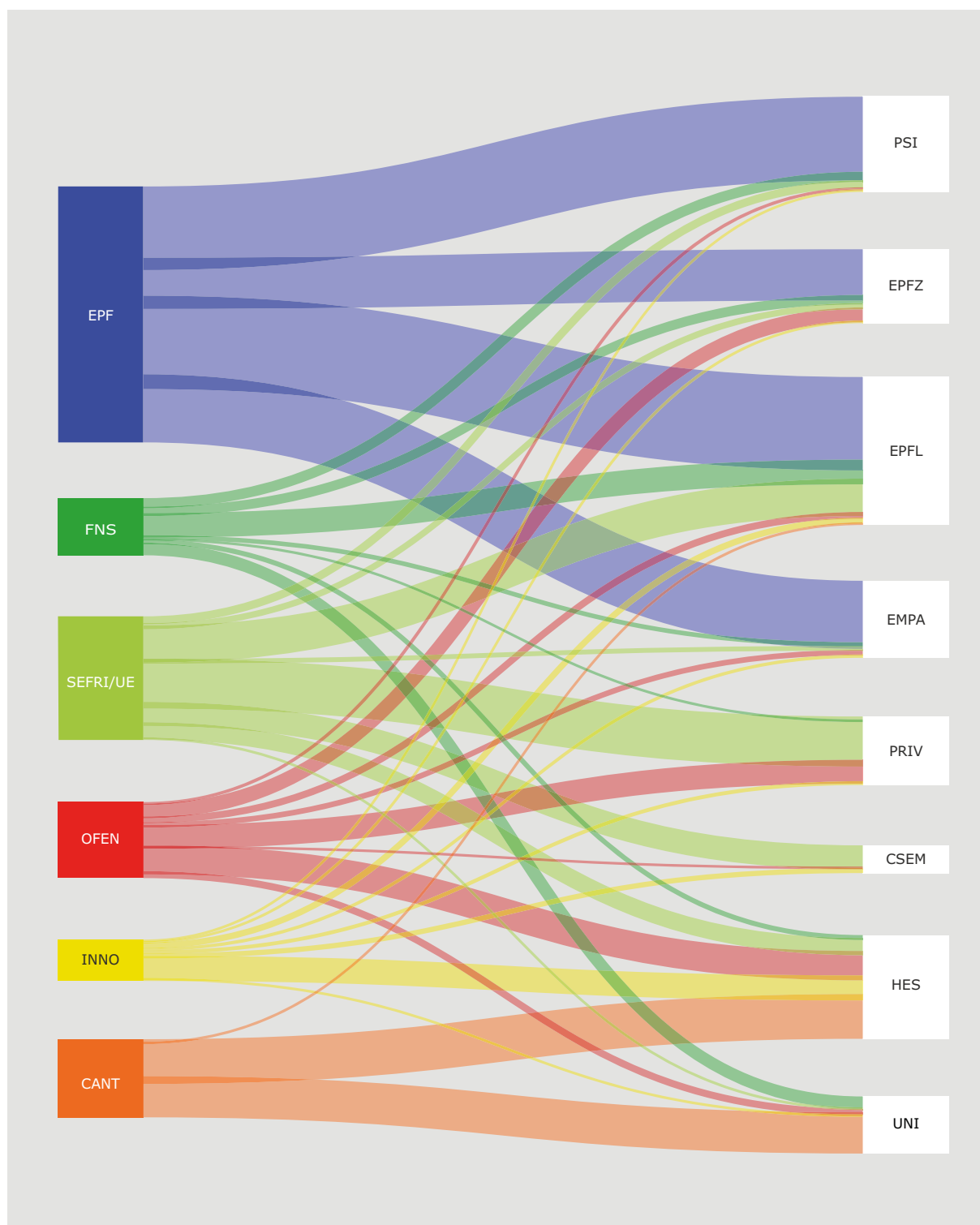
Fonds publics consacrés à la recherche énergétique en Suisse (à gauche) et dans 29 pays membres de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) (à droite). Pour la Suisse, ces dépenses se situent dans une fourchette de 0,4 à 0,58 pour mille du produit intérieur brut. Les fonds sont répartis selon la classification de l'AIE (source : statistique de la recherche énergétique OFEN, AIE).



Financement public de la recherche sur l'énergie (données 2024) par agence de financement et par domaine thématique. Environ 37 % du financement de la recherche énergétique en Suisse provient directement du domaine des EPF, et environ 11 % 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 2024) : 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 (68 % 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. D'autres institutions de recherche de la Confédération, du secteur privé et de l'étranger ne figurent pas dans ce graphique pour des raisons de clarté (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, EPFZ : EPF de Zurich, EPFL : EPF de Lausanne, EMPA : Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, PRIV : Secteur privé, CSEM : Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique, HES : Hautes écoles spécialisées, UNI : Universités (source : statistique de la recherche énergétique OFEN).

Net-zéro émissions de gaz à effet de serre dans le domaine du bâtiment – état des lieux de la recherche

Atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 fait partie des objectifs centraux de la politique climatique de la Suisse. Le terme « neutralité carbone » décrit une situation dans laquelle les émissions anthropiques de gaz à effet de serre sont compensées par des absorptions équivalentes dans l'atmosphère. Contrairement à l'objectif fixé pour 2050 le « net-zéro » pour les bâtiments implique une prise en compte systématique de l'ensemble du cycle de vie : de l'extraction des matières premières et de la fabrication des matériaux de construction à la démolition et à l'élimination, en passant par la phase de construction et l'exploitation. L'année 2050 n'est pas pertinente dans cette perspective, ce qui est logique au regard des objectifs climatiques si l'on considère que les émissions de GES doivent devenir négatives en termes nets au cours de la seconde moitié du XXI^e siècle afin de freiner le réchauffement climatique.

De la recherche au marché en un temps record

Le projet de recherche « Net-zéro émissions de gaz à effet de serre dans le domaine du bâtiment » (Net-to-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich, NN-THGG), lancé par l'OFEN et achevé en novembre 2024, porte sur l'étude et l'évaluation systématiques des GES dans le secteur du bâtiment. Principale conclusion : outre une définition scientifiquement fondée, le projet a montré que la réduction des émissions grises des bâtiments est la plus urgente et représente en même temps le plus grand défi. Cependant, il est également apparu clairement que les bâtiments à zéro émission nette ne sont aujourd'hui de facto pas réalisables selon les règles d'écobilan en vigueur en Suisse (cf. encadré NN-THGG).

Pour la mise en œuvre pratique en Suisse, les normes et labels établis revêtent une importance capitale. Les normes SIA constituent la base méthodologique de l'analyse du cycle de vie des bâtiments, en particulier le cahier technique SIA 2032 « Énergie grise », qui définit les règles de calcul applicables en Suisse, ainsi que la norme SIA 390/1 « La voie du climat », qui définit les exigences relatives aux bâtiments compatibles avec la protection du climat. Cette dernière a été élaborée parallèlement au projet de recherche NN-THGG et publiée en février 2025, les définitions du projet de recherche ayant été reprises et ainsi directement mises en œuvre.

L'association Minergie, qui a participé au groupe d'accompagnement du projet de recherche aux côtés de la SIA et d'autres parties prenantes, s'était fixé pour

objectif de publier un standard net-zéro pour les bâtiments Minergie sur la base des résultats du projet de recherche NN-THGG. Pour ce faire, Minergie a élargi les limites du bilan de calcul en permettant la prise en compte de certificats pour des éliminations de CO₂ non liées aux bâtiments. D'autre part, deux ajustements méthodologiques ont été introduits : des facteurs d'émission nettement réduits pour déterminer les GES à compenser, ainsi que la prise en compte partielle des émissions négatives temporaires d'origine biogène pour atteindre le net-zéro, ce qui constitue une différence par rapport aux règles reconnues de l'analyse du cycle de vie. Néanmoins, avec le standard « Minergie-Zéro-Net », un produit est désormais disponible sur le marché depuis mars 2026 qui offre des incitations efficaces pour réduire les émissions grises des bâtiments, stocker du CO₂ et également le compenser en partie.

Bâtiments à faibles émissions grises

La nouvelle norme SIA 390/1, conformément aux règles reconnues de l'analyse du cycle de vie, prend en compte les émissions de gaz à effet de serre liées à la construction et à l'exploitation et formule des exigences. Elle inclut les émissions liées à la fabrication d'éléments de construction produisant de l'énergie, tels que les installations photovoltaïques, les capteurs thermiques ou les sondes géothermiques. En contrepartie, ces éléments réduisent les émissions pendant l'exploitation. Une exigence est fixée sous la forme



Lotissement Burkwil à Meilen : Burkwil propose des logements de grande qualité, accessibles à tous, pouvant accueillir environ 160 personnes. Les six nouveaux bâtiments ont été construits de manière à réduire au maximum les émissions, en utilisant du bois massif, de l'argile et du béton à faible teneur en ciment (source : © Tend AG).

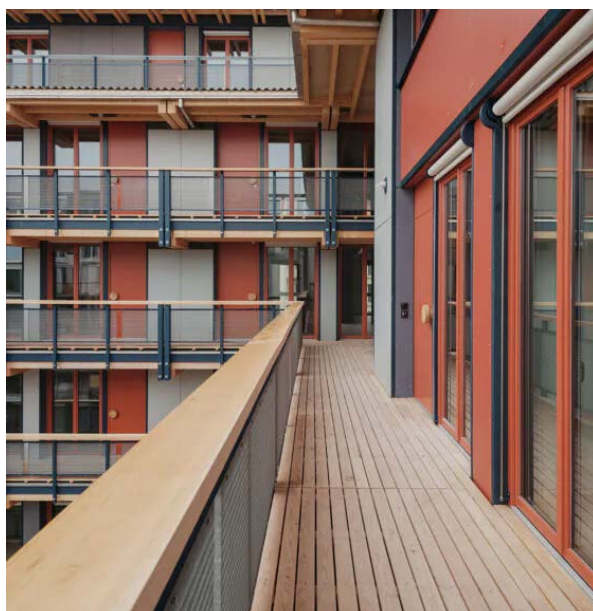
Bâtiments net-zéro selon le projet de recherche NN-THGG



« Un bâtiment dont les émissions de gaz à effet de serre sont net-zéro présente un minimum d'émissions de GES pour sa construction et son exploitation tout au long de son cycle de vie et réduit les émissions de GES restantes grâce à des émissions négatives imputables au niveau des matériaux et des éléments de construction. Les émissions négatives sont comptabilisées si le stockage permanent du carbone biogénique est assuré. Cette possibilité n'existe pas de facto aujourd'hui. »

d'un budget global pour la somme de toutes les émissions de GES liées à la construction et à l'exploitation. La norme comprend deux niveaux d'exigence : de base (B) et ambitieux (A).

En revanche, les nouvelles prescriptions types des cantons en matière d'énergie (MoPEC 2025), adoptées à l'automne 2025, fixent une valeur limite légale pour les émissions de construction par catégorie de bâtiment. Celle-ci se compose d'une valeur limite de base et de majorations pour les surfaces non chauffées, les sondes géothermiques et les installations solaires. Minergie-Zéro-Net exige quant à lui le respect de la valeur limite ECO1 pour la construction et autorise les mêmes majorations que les MoPEC. Il en résulte donc, tant pour les MoPEC que pour Minergie, une valeur limite de construction à calculer au cas par cas. En revanche, aucune valeur limite n'est fixée pour les émissions d'exploitation dans les MoPEC et Minergie. Les premiers exemples pratiques montrent qu'il est d'ores et déjà possible de construire des bâtiments présentant des émissions grises très faibles. Des pro-



Lysbüchel, parcelle 8, construction d'un immeuble résidentiel et commercial à Bâle : le projet répond aux exigences élevées en matière de durabilité et d'économie à plusieurs niveaux. La cage d'escalier ouverte et l'accès par des coursives réduisent la surface de référence énergétique. Les coursives situées côté sud constituent une protection thermique estivale permanente de la façade, tandis que des stores verticaux et à bras articulés offrent une protection supplémentaire en cas de besoin (source: Loeliger Strub Architektur, © Federico Farinatti).

jets tels que le lotissement Burkwil à Meilen (2025), le complexe résidentiel et commercial LysP8 à Bâle (2024) ou l'extension commerciale K.118 à Winterthur (2021) satisfont tous aux exigences de MoPEC, Minergie-Zéro-Net (valeur limite ECO 1) et SIA 390/1 base (cf. graphique). Ils démontrent comment une planification intégrée, une construction efficace en termes de matériaux incluant la réutilisation et l'utilisation d'énergies renouvelables permettent d'atteindre des réductions significatives des émissions. Ces projets constituent des références importantes pour d'autres projets de mise en œuvre.

Besoin de recherches supplémentaires

L'exemple de Minergie montre que, malgré l'élargissement des limites du bilan, le net-zéro ne peut être atteint que par une prise en compte partielle des émissions négatives biogènes temporaires. Afin de permettre une harmonisation de la méthodologie de calcul à moyen terme, il est nécessaire de disposer de méthodes permettant de prouver de manière juridiquement contraignante la permanence des puits de carbone biogènes. Il existe encore des lacunes importantes dans ce domaine.

De plus, il faudra à l'avenir tenir compte du moment où les émissions se produisent. Dans le cas des bâtiments, les émissions ne sont pas linéaires, mais se concentrent en grande partie sur la phase de construction, tandis que les émissions liées à l'exploitation diminueront progressivement en raison de la décarbonisation. Pour prendre en compte mathématiquement cet effet, qualifié de « réalité des émissions », il manque aujourd'hui des facteurs d'émission différenciés dans le temps pour l'électricité et le chauffage à distance capables de refléter la diminution probable de l'intensité en GES.

Perspectives

Les lacunes dans les connaissances décrites ci-dessus doivent être comblées par des projets issus de l'appel à projets 2026 du programme de recherche « Bâtiments & Villes » de l'OFEN. Parallèlement, la SIA prévoit de faire évoluer le cahier technique SIA 2032 vers une norme plus contraignante afin d'actualiser le calcul des émissions grises en fonction de l'état des connaissances et de tenir compte des exigences de la réalité des émissions.

Minergie-Zéro-Net conforme à minergie.ch

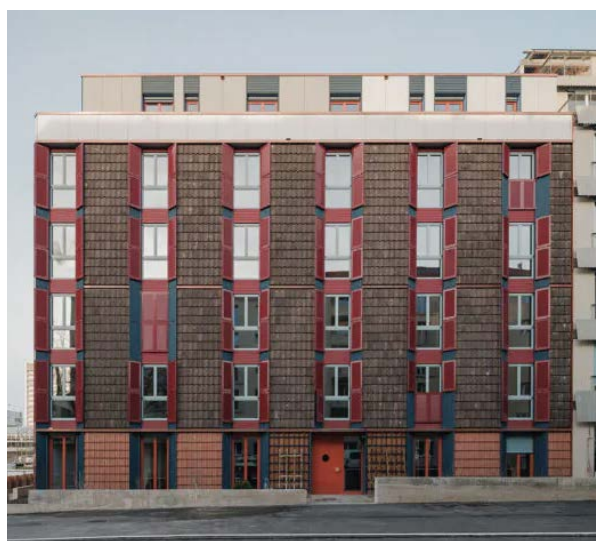
« Un bâtiment Minergie-Zéro-Net est un bâtiment neuf ou rénové qui n'a qu'un très faible impact carbone au cours de son cycle de vie défini à 60 ans. Le carbone stocké dans le bâtiment est ensuite déduit de son empreinte carbone, la réduisant d'autant. Le solde d'émissions de gaz à effet de serre doit ensuite être équilibré. »



De plus, les expériences futures issues de l'application de la SIA 390/1 et de Minergie-Zéro-Net doivent être systématiquement évaluées. Sur cette base, un développement continu des normes et standards est prévu. Le nombre croissant de bâtiments réalisés avec des émissions grises minimisées jouera un rôle central à cet égard : il fournit des données empiriques, renforce l'acceptation par le marché et permet une transformation accélérée du parc de bâtiments vers un parc immobilier climatiquement neutre.

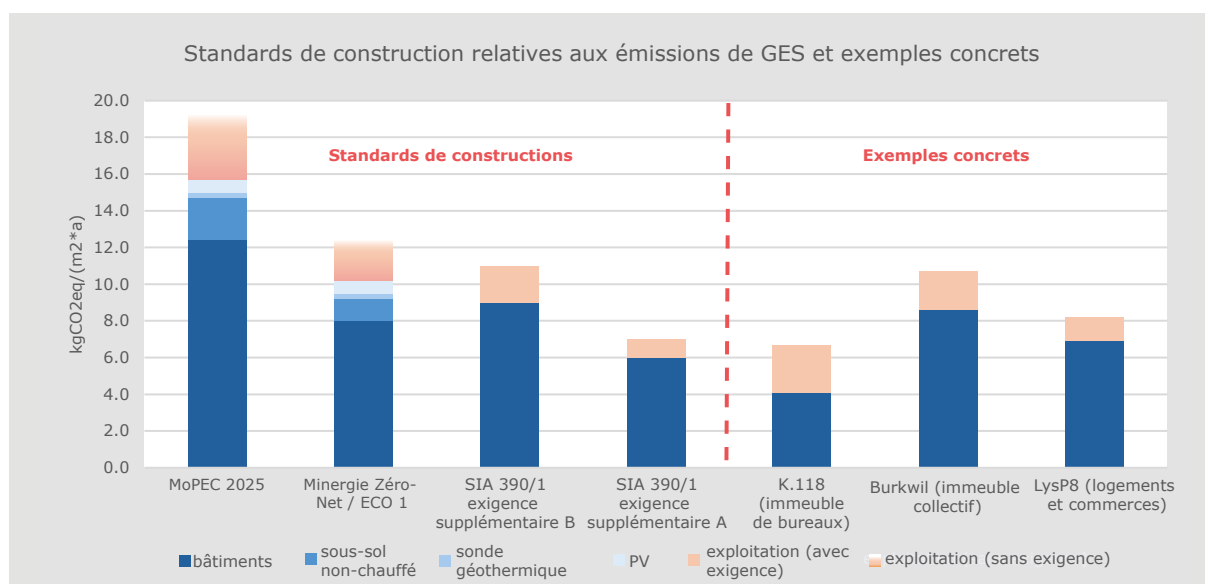
Conclusion

Dans l'ensemble, il apparaît que la réalisation de l'objectif net-zéro émission de GES dans le domaine du bâtiment nécessite une approche intégrée. Outre le développement des bases méthodologiques, des solutions orientées vers la pratique, des systèmes de vérification favorisant la réalisation des objectifs et un cadre politique approprié sont particulièrement déterminants. Ce n'est que grâce à l'interaction entre la recherche, la normalisation, la mise en œuvre et la législation que le domaine du bâtiment pourra contribuer à la réalisation des objectifs climatiques.



Immeuble LysP8 à Bâle : construction neuve innovante et optimisant l'espace, avec une proportion maximale d'éléments de construction réutilisés, comprenant 27 petits appartements ainsi que des locaux commerciaux au rez-de-chaussée. Façade ventilée avec revêtement en briques (source: Loeliger Strub Architektur, © Federico Farinatti).

Andreas Eckmanns, OFEN



À gauche : comparaison des émissions brutes (hors émissions négatives) liées à la construction et à l'exploitation des principales normes suisses en matière de bâtiments. En raison des différentes méthodes de calcul, les exigences des normes présentées ont été extrapolées à un immeuble collectif type, afin de pouvoir les comparer entre elles. Étant donné que MoPEC et Minergie ne fixent aucune exigence concernant les émissions d'exploitation, celles-ci ont été représentées par des barres s'étendant vers le haut. Le graphique montre que les exigences de Minergie-Zéro-Net en matière d'émissions de construction (valeur limite ECO 1) sont du même ordre de grandeur que celles de l'exigence supplémentaire SIA B, tandis que celles de MoPEC sont nettement plus élevées. Cette image reste inchangée même en tenant compte de l'exploitation (estimée à titre d'exemple).

À droite : les exemples pratiques ont été calculés selon la norme SIA 390/1, conformément aux spécifications du projet de recherche NN-THGG (avec vente de quotas HKN, sans électricité verte). Ils sont directement comparables aux valeurs d'exigence de la norme SIA 390/1. Étant donné que pour MoPEC et Minergie, les valeurs limites pour la construction dépendent du projet et qu'aucune exigence n'est posée concernant les émissions d'exploitation, une comparaison directe n'est pas possible ici. Le graphique montre que les trois exemples pratiques satisfont à la norme SIA 390/1, niveau B. En ce qui concerne les émissions de construction, les bâtiments présentent toutefois de grandes différences. Grâce à la réexploitation du bâtiment existant (transformation et surélévation) et une réutilisation maximale des éléments de construction, K.118 affiche les émissions grises les plus faibles et satisfait à l'exigence supplémentaire A de la norme SIA malgré une part d'exploitation relativement élevée. Une raison importante à cela est que, aucune surface non chauffée – par exemple un sous-sol – n'entre ici en ligne de compte. En revanche, malgré une méthode de construction optimisée, les deux nouveaux bâtiments LysP8 et Burk wil (sur la base d'un taux d'autoconsommation optimisé de 50 %) présentent des émissions de construction par m² de surface de référence énergétique nettement plus élevées. Si l'on ajoute à cela les émissions d'exploitation, qui sont plus faibles pour LysP8 que pour le projet Burk wil grâce au chauffage à distance sans énergie fossile, les deux respectent les exigences supplémentaires B (Sources : calcul des émissions de construction des standards : Jörg Dietrich, SIA ; hypothèses d'émissions pour l'exploitation des standards ainsi que pour K.118 : OFEN ; calcul des émissions des exemples pratiques pour la construction et l'exploitation : Katrin Pfäffli, Architekturbüro K. Pfäffli ; graphique : OFEN).



Jusqu'à 3 térawattheures d'électricité solaire pourraient être produits chaque année grâce à des installations solaires prêtes à brancher sur les balcons et les toits de petite taille (sources : hassler energia (gauche) / Meteotest (droite)).

Systèmes photovoltaïques « plug-and-play » : de petites installations au potentiel énorme

En installant des systèmes photovoltaïques prêts à brancher sur les balcons et les toits, la Suisse pourrait produire chaque année environ 3 térawattheures d'électricité, dont près d'un tiers en hiver. Une étude montre ce qu'il faut faire pour mieux exploiter cet énorme potentiel à l'avenir.

Les installations photovoltaïques de type « plug-&play » connaissent un succès croissant en Suisse. Il s'agit d'installations solaires pouvant être montées sur son propre balcon ou toit et branchées sur une prise électrique afin de produire de l'électricité pour sa propre consommation.

Un consortium composé de la Haute école spécialisée bernoise, d'Electrosuisse, de Meteotest et de l'Association suisse des contrôles électriques a, avec le soutien de l'Office fédéral de l'énergie, examiné pour la première fois le potentiel des petites installations prêtes à brancher sur les balustrades de balcons en Suisse. L'étude montre que de telles installations, composées chacune

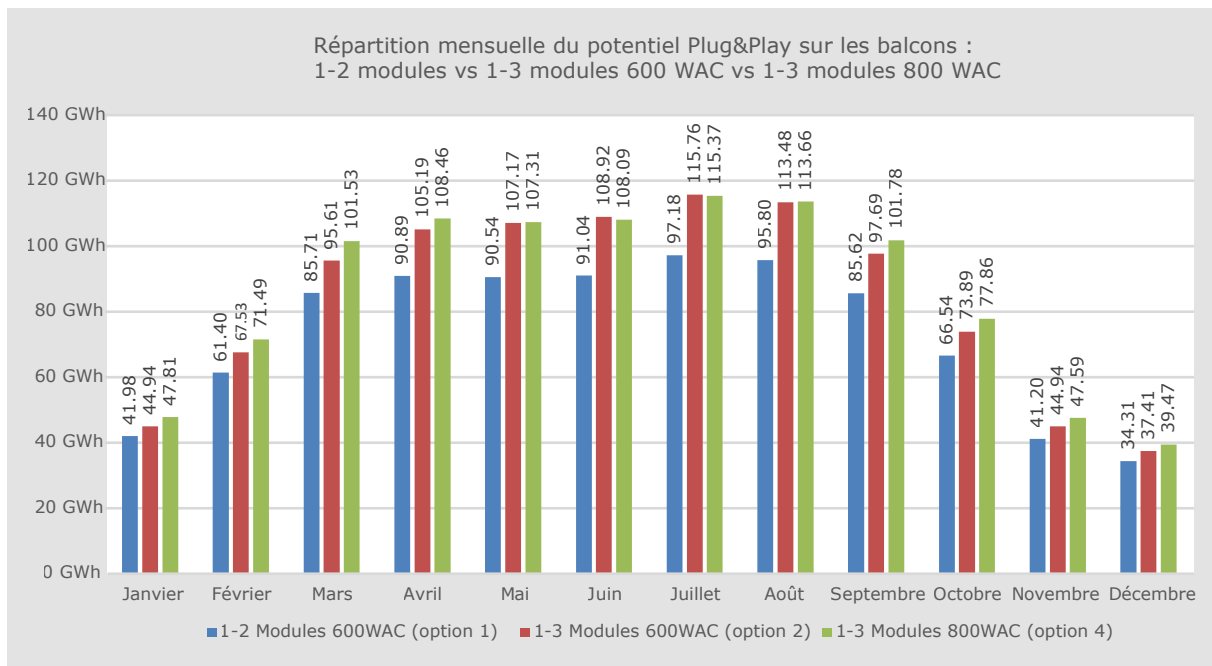
de trois modules au maximum, pourraient produire environ 1 térawattheure d'électricité solaire par an. À cela s'ajoutent environ 2 térawattheures supplémentaires par an provenant de systèmes solaires prêts à brancher installés sur de très petites toitures, comme par exemple des abris à vélos. Environ un tiers des 3 térawattheures au total est produit pendant la saison hivernale. Ces chiffres tiennent déjà compte du fait que l'injection dans le réseau est partiellement réduite afin d'éviter une surcharge du réseau électrique.

Minimiser les risques

Les systèmes photovoltaïques « plug-and-play » étant utilisés par des non-initiés, ils doivent

répondre à des exigences de sécurité élevées. En Suisse, leur utilisation n'est pas encore réglementée de manière exhaustive. La communication de l'Inspection fédérale des installations à courant fort (ESTI) dans le Bulletin 7/2014 ne réglemente que les aspects électrotechniques les plus importants. Selon celle-ci, les installations d'une puissance CA cumulée maximale de 600 watts peuvent être branchées sur des prises domestiques. La condition préalable est que certaines exigences – par exemple la présence d'un dispositif de surveillance du courant de défaut et l'information écrite du gestionnaire de réseau de distribution avant la mise en service – soient respectées.





Production énergétique mensuelle potentielle des installations sur balcons équipées de 1 à 2 ou 3 modules d'une puissance d'injection de 600 watts CA, par rapport à celles équipées de 1 à 3 modules d'une puissance d'injection de 800 watts CA (source : Meteotest, édité).

Afin de minimiser davantage les risques, l'étude a notamment recensé les lacunes de la normalisation actuelle ainsi que les dangers liés, par exemple, à la sécurité des installations, à la protection contre les incendies, à la surcharge ou à la protection contre les chocs électriques. Sur la base de nombreux tests, il a été possible de mettre en évidence les caractéristiques que présentent ou devraient présenter les produits sûrs. Lorsque cela s'est avéré nécessaire, des mesures de réduction des risques ont été proposées.

Élaborer de nouvelles lignes directrices

Afin de combler les lacunes réglementaires, l'équipe du projet recommande d'élaborer une norme-directive suisse (SNG) fondée sur les conclusions de l'étude et les technologies disponibles aujourd'hui. Il convient également d'envisager une augmentation de la puissance de 600 à 800 watts (monophasé) ainsi qu'une extension à de nouvelles catégories de systèmes (notamment les sys-

tèmes triphasés et ceux équipés de batteries de stockage). Le consortium du projet a déjà engagé les principales démarches visant à remplacer la réglementation ESTI 2014 et a établi un cadre de contenu pour la SNG. Dans une prochaine étape, un groupe de travail sera constitué pour élaborer le contenu. L'objectif est de publier la SNG d'ici mi-2027.

Les nouvelles directives relatives aux systèmes photovoltaïques

« plug-and-play » visent à créer les conditions optimales pour que le vaste potentiel des installations prêtes à brancher sur les balustrades de balcons et les micro-toitures puisse être exploité à l'avenir de manière plus efficace et plus sûre pour la production d'électricité solaire.

Sandra Arberhard, Faktor Journalisten AG



L'un des objectifs du projet était notamment de réduire les risques et de jeter les bases de nouvelles directives relatives aux installations « plug-and-play » (source : BFH).



Vue du lac de retenue de la centrale à accumulation « Hongrin-Léman » dans les Alpes vaudoises. L'installation utilise la différence de hauteur entre le lac de l'Hongrin (1255 m d'altitude) et le lac Léman (377 m d'altitude) pour produire et stocker de l'électricité. Vue de la turbine Pelton utilisée pour la production d'électricité (source : Commons Wikimedia, Gcottenc, CC BY-SA 2.5).

L'énergie hydraulique joue un rôle de stabilisateur

Les lacs de retenue sont comme des batteries géantes pour l'approvisionnement national en électricité. Parallèlement, les centrales au fil de l'eau contribuent à prévenir les pannes générales du réseau électrique. Une étude pluriannuelle financée par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) montre qu'il est relativement facile d'accroître l'effet stabilisateur des installations hydroélectriques.

On peut compter sur l'énergie hydraulique nationale. En 2024, elle a fourni environ 37 térawattheures d'électricité, soit près d'un pour cent de plus que l'année précédente. Si la production continue de croître au même rythme, l'objectif d'extension de la stratégie énergétique nationale est tout à fait réalisable. D'ici 2050, l'hydroélectricité devrait fournir deux térawattheures supplémentaires, soit un total de 39 térawattheures d'électricité.

Les efforts en ce sens ont déjà commencé : de nombreuses cen-

trales hydroélectriques doivent être renouvelées à court ou moyen terme. Et une extension est prévue pour plusieurs sites afin de produire autant d'électricité que possible à partir d'une source respectueuse du climat.

L'énergie hydraulique est toutefois également indispensable à la sécurité d'approvisionnement. Les lacs de retenue sont nécessaires pour stocker l'électricité éolienne et solaire excédentaire. Parallèlement, les centrales au fil de l'eau contribuent à équilibrer rapidement la tension dans le réseau de

transport d'électricité. En cas de risque de surcharge, la production diminue immédiatement. En revanche, si une baisse de tension se profile, davantage d'énergie est immédiatement produite pour alimenter le réseau.

Mode de fonctionnement variable

Les temps de réaction courts ont toutefois un impact négatif sur l'exploitation des centrales : chaque changement de mode et chaque variation de pression augmentent l'usure des compo-

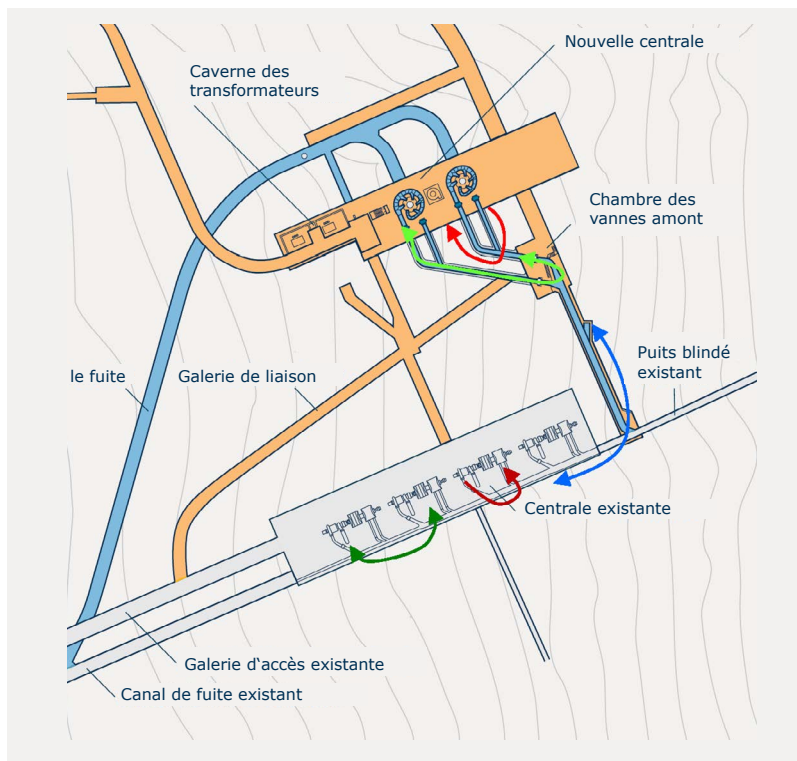


Schéma du système de « court-circuit hydraulique » permettant le fonctionnement de la centrale en mode parallèle « turbinage » et « pompage » (graphique : rapport final HydroLEAP, 2025, édité).

sants mécaniques. Avec le soutien de l'OFEN, la recherche nationale vient de mener à bien une étude de plusieurs années visant à améliorer le fonctionnement des centrales hydroélectriques en mode de stockage et d'équilibrage.

Une première mesure d'optimisation s'impose pour les centrales à

accumulation par pompage, qui stockent ou produisent de l'électricité en fonction des besoins. Sous certaines conditions, la turbine et la pompe peuvent être synchronisées entre elles, ce qui permet d'organiser l'exploitation de manière nettement plus flexible. Au choix, les installations mécaniques peuvent pas-

ser plus rapidement du mode de production au mode de stockage. Ou bien le fonctionnement de la pompe peut être adapté de manière plus flexible qu'aujourd'hui à un excédent d'électricité plus ou moins important sur le réseau.

Test à Vaud

Grâce à ces travaux de recherche, le mode de fonctionnement flexible a été testé avec succès à la centrale « Hongrin-Léman » dans les Alpes vaudoises. Pour cela, il était essentiel de mettre en place un nouveau type de circuit d'eau au sein de l'installation existante – ce qu'on appelle le « court-circuit hydraulique » – en préservant autant que possible l'installation.

L'optimisation du fonctionnement de régulation a également été testée sur une centrale au fil de l'eau. Lors de la rénovation d'une installation dans le Haut-Valais, un accumulateur électrique supplémentaire a été ajouté. Celui-ci sert de tampon énergétique pour les turbines : si le réseau a besoin de plus d'électricité ou si la demande diminue, la commande est d'abord transmise à l'accumulateur. Celui-ci libère ou absorbe de l'énergie, de sorte que la turbine continue de tourner à vitesse constante dans un premier temps. Ce mode de fonctionnement ménage surtout les aubes, car celles-ci seraient sinon directement exposées à une variation de pression dans le débit d'eau.

Tant le court-circuit hydraulique que le réservoir supplémentaire sont déjà utilisés à plusieurs reprises dans les centrales hydroélectriques en Europe. Les résultats de l'étude laissent espérer que ces mesures seront également de plus en plus mises en œuvre dans le secteur hydroélectrique national.



Vue de la turbine Pelton utilisée pour la production d'électricité (source : rapport final HydroLEAP, 2025).

Paul Knüsel, Faktor Journalisten AG





La puissance de charge maximale de la solution de recharge mobile a été testée dans le cadre de l'installation expérimentale à Oberbüren. Un camion teint 1500 ampères avec une puissance de charge supérieure à 1 mégawatt pendant dix minutes (source : Designwerk Technologies AG).

Méga-chargeurs pour camions électriques

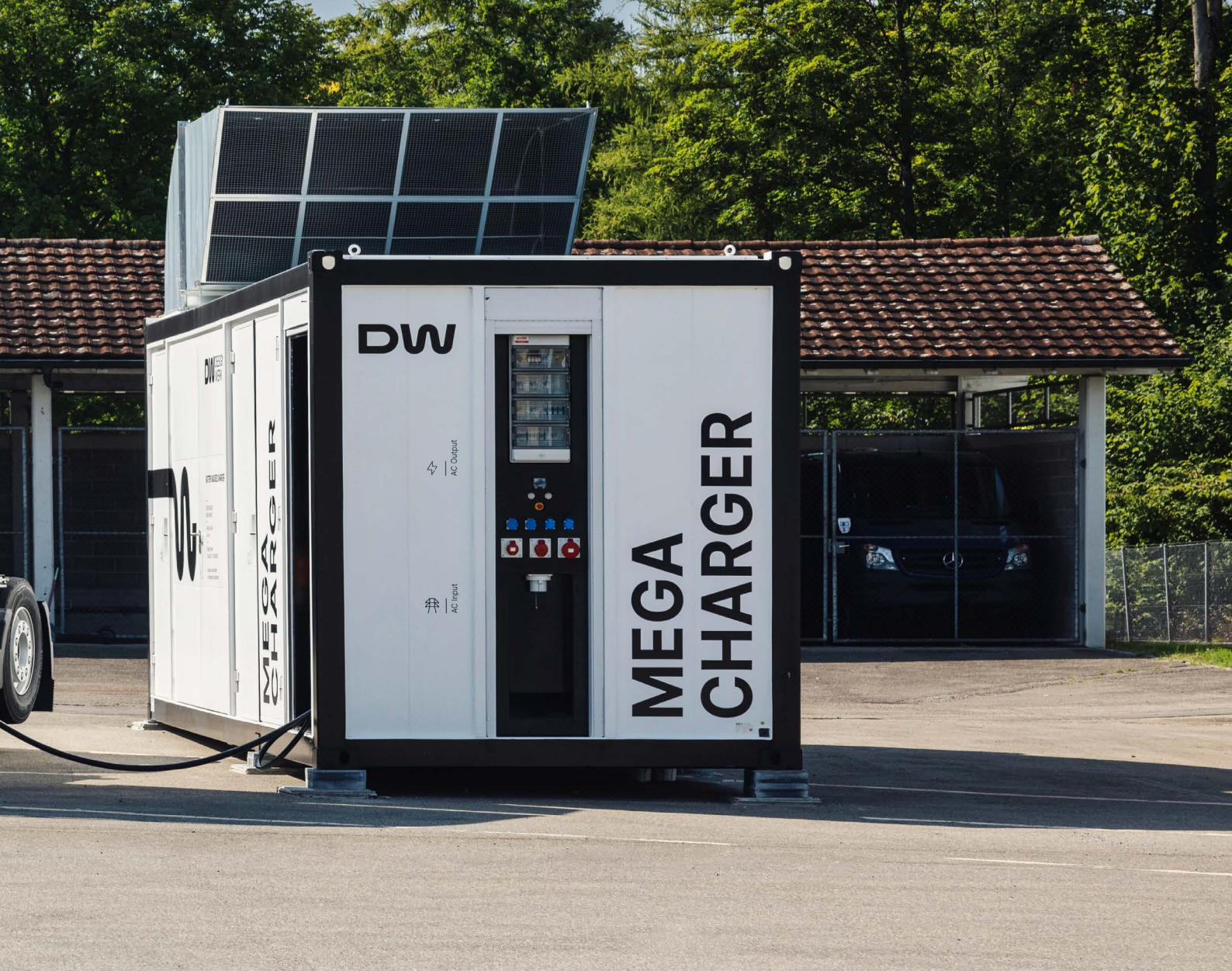
Les stations de recharge mobiles avec accumulateur intégré permettent de recharger les camions électriques à des emplacements choisis librement et plus rapidement que d'habitude. Les résultats d'un projet pratique mené pendant plusieurs mois montrent comment ce concept fonctionne et quels avantages il offre.

Alors que les pays d'Europe du Nord affichent les chiffres les plus élevés en matière de nouvelles immatriculations de voitures particulières électriques à batterie, la Suisse se classe parmi les premiers pour les camions électriques. En 2025, un véhicule utilitaire lourd sur cinq vendu dans le pays était équipé d'une moto-

risation électrique – une première place au niveau européen. Cela indique que de plus en plus d'entreprises de transport locales voient des avantages économiques dans l'acquisition d'un camion électrique. Certes, leur prix d'achat reste supérieur à celui des camions diesel conventionnels, mais les camions électriques

à batterie coûtent moins cher à l'usage. D'une part, la recharge électrique est moins chère que le plein de diesel ; d'autre part, les camions électriques sont (pour l'instant) exonérés de la redevance sur le trafic des poids lourds liée aux prestations (RPLP). Sur l'ensemble de leur cycle de vie, les véhicules utilitaires élec-





on électrique équipé d'une batterie de grande capacité (1000 kilowattheures) a été rechargé de 10 à 90 % en 52 minutes. Le courant de charge a at-

triques à batterie peuvent donc s'avérer plus économiques que les camions fonctionnant aux carburants fossiles.

Des batteries plus petites, une recharge plus rapide

Pour qu'un transporteur opte pour un camion électrique, il ne suffit pas que les aspects financiers soient convaincants : les exigences opérationnelles doivent également être satisfaites. Concrètement, le véhicule doit être capable d'effectuer son itinéraire quotidien dans les délais requis avec une batterie rechargée à pleine capacité pendant la nuit. En général, on installe pour cela dans les camions électriques de grandes batteries

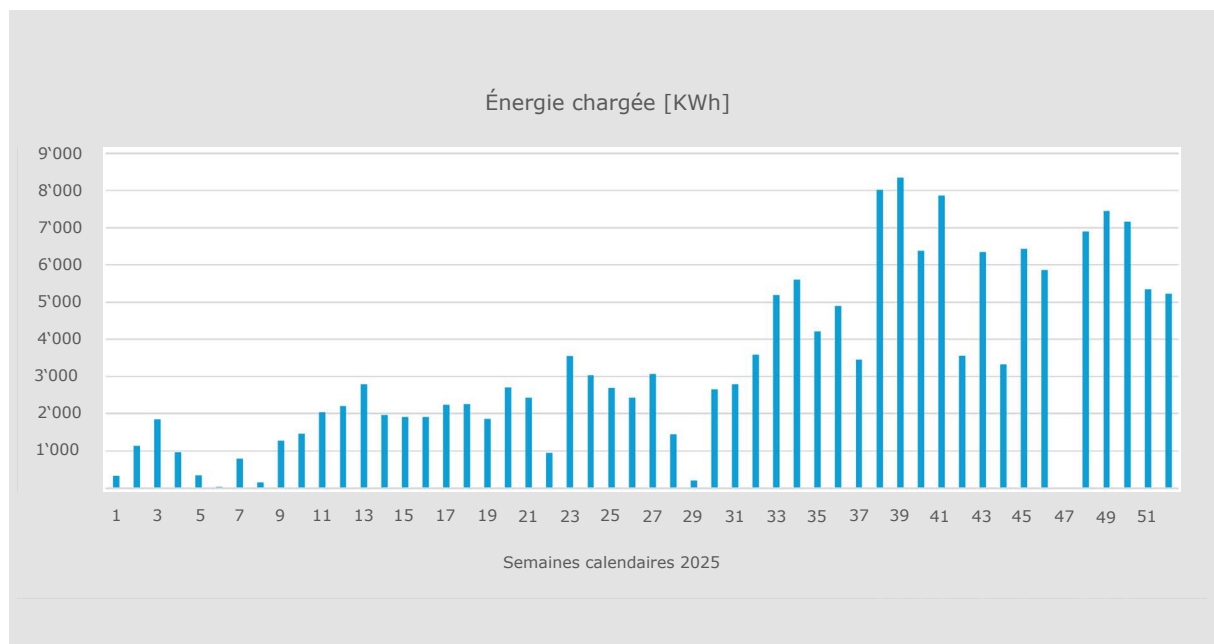
d'une capacité de stockage d'environ 1 000 kilowattheures et d'un poids d'environ 5,5 tonnes. Cela permet certes d'atteindre l'autonomie souhaitée, pouvant aller jusqu'à 1 000 kilomètres, mais présente des inconvénients tels que des coûts d'acquisition élevés ainsi qu'une charge utile inférieure à celle des camions fonctionnant aux énergies fossiles.

Une alternative consiste à utiliser des batteries plus petites d'une capacité de 500 kilowattheures et d'un poids d'environ 2,8 tonnes, qui sont en revanche rechargées plus fréquemment et plus rapidement. Si les temps d'arrêt prolongés sont en principe évités

dans le secteur des transports, en Suisse, les chauffeurs doivent toutefois faire une pause d'au moins 45 minutes au plus tard après 4,5 heures de conduite. Ce temps peut être mis à profit pour recharger la batterie suffisamment afin que le camion électrique puisse accomplir le reste de sa journée de travail. Pour que cela soit possible, il faut des stations de recharge rapide adaptées.

Stockage intégré

C'est là qu'est intervenu le projet pilote « Mega Charger: Megawatt-Batterie-Ladesystem für schwere Nutzfahrzeuge (système de recharge de batteries de mégawatts pour poids lourds) »,



Le graphique montre la quantité totale d'énergie chargée chaque semaine sur le site d'Altishofen en 2025. Au cours de la phase d'essai, ce volume a pu être augmenté, notamment après une adaptation du matériel au cours de la semaine 29. À titre de comparaison : avec le maximum atteint de 8000 kilowattheures par semaine, on pourrait alimenter en électricité plus de 100 foyers moyens de maisons individuelles pendant la même période (source : Designwerk Technologies AG, édité).

soutenu par l'Office fédéral de l'énergie. Il a examiné dans quelle mesure un « Megawatt Charging System » (MCS) – un concept de recharge nettement plus performant que les stations de recharge des voitures électriques – peut répondre aux exigences liées à l'exploitation de camions électriques équipés de batteries (relativement) petites. À cette fin, la station de recharge a été installée dans un conteneur disposant également d'un système de stockage d'électricité. Elle est ainsi mobile et peut être placée là où des camions électriques nécessitant une charge à haute puissance doivent être rechargés. De plus, grâce à son accumulateur intégré, la station de recharge mobile peut fournir des puissances de charge supérieures à celles que permettrait normalement le raccordement au réseau local. Par ailleurs, le réseau est soulagé, car l'accumulateur peut lisser les pics de charge et d'injection. Un exemple : si les installations solaires locales produisent d'importants excé-

dents, le système de stockage peut les absorber et ainsi protéger le réseau contre une surcharge.

Essai pratique concluant

Dans le cadre du projet pilote, deux prototypes de la station de recharge mobile ont été construits et testés sur différents sites. L'un d'eux a été utilisé pendant environ neuf mois à Altishofen, dans le canton de Lucerne, dans le dépôt d'un transporteur, où il a effectué jusqu'à dix recharges par jour ouvrable. Le trajet habituel de l'un de ces camions électriques consistait, par exemple, à faire deux fois par jour le trajet entre Altishofen et Genève. Cela correspond à une distance totale d'environ 900 kilomètres – un trajet pour lequel le camion électrique doit être rechargé en cours de route. Cela se faisait généralement après le premier retour en fin d'après-midi, afin que le véhicule puisse ensuite entamer son deuxième trajet.

L'autre station de recharge mobile était située dans un dépôt du

réseau routier national à Oberbüren (SG). On y a notamment vérifié les puissances de recharge maximales atteintes par le système. Lors d'un test, un prototype de camion électrique doté d'une batterie d'une capacité de 1000 kilowattheures a été rechargé de 10 à 90 % en 52 minutes. Une analyse des répercussions sur le réseau électrique a montré que les valeurs limites fixées par le gestionnaire de réseau étaient respectées – il n'y a donc pas eu de surcharge du réseau. Cela a permis de démontrer que la station de recharge mobile répondait aux exigences techniques.

Une charge utile plus élevée : un avantage

Et qu'en est-il de la rentabilité? Pour l'évaluer, l'équipe du projet a comparé le coût total de possession (Total Cost of Ownership, TCO) d'un camion électrique équipé d'une grande batterie rechargée de manière conventionnelle avec celui d'un camion élec-

trique équipé d'une batterie plus petite rechargée à l'aide de la station de recharge mobile décrite. Le scénario du camion électrique équipé d'une batterie plus petite a en effet révélé certains avantages en termes de coûts, tels que des investissements moins élevés pour le véhicule, une charge utile potentiellement plus élevée et des temps d'immobilisation plus courts. De plus, les coûts énergétiques sont moins élevés, car les véhicules plus légers consomment moins d'électricité et parce que les accumulateurs peuvent stocker de l'électricité solaire bon marché et la restituer la nuit. Les coûts de réseau sont également réduits, car grâce au système de stockage, une puissance de raccordement au réseau relativement plus faible suffit. Ces avantages dépendent toutefois des prix de l'énergie, du taux d'utilisation du camion et de la dégradation (perte de capacité) de la batterie.

L'analyse du cycle de vie faisait également partie de l'étude. Les batteries de seconde vie utilisées pour le système de stockage d'électricité dans le conteneur de chargement ont constitué un facteur d'influence essentiel. Il s'est avéré que l'intensité en CO₂ de l'électricité utilisée ainsi que le rendement du système ont la plus grande influence sur les émissions de gaz à effet de serre. En termes de kilomètres parcourus, les émissions de CO₂ des deux scénarios comparés sont à peu près équivalentes. Si l'on tient compte de la masse transportée, le système équipé de batteries plus petites présente un léger avantage en raison de sa charge utile plus élevée.

Contribution à la décarbonisation

Conclusion du projet : le concept d'une batterie de camion électrique plus petite, combinée à une station de recharge mobile avec accumulateur d'électricité, est

techniquement viable. La viabilité opérationnelle et la compatibilité avec le réseau ont également pu être démontrées lors d'essais pratiques. La présence d'avantages économiques dépend fortement de la conception. Selon l'équipe du projet, l'utilisation de cette solution de recharge innovante est particulièrement judicieuse sur les sites où l'infrastructure du réseau est insuffisante pour alimenter une flotte de camions électriques. Elle peut être mise en place rapidement et sans interventions majeures sur place. En revanche, les sites où l'espace est très restreint posent des difficultés, car le conteneur abritant la station de recharge et le système de stockage ne peut être divisé ni réduit. Dans l'ensemble, ce concept peut constituer un élément important pour la décarbonisation du trafic lourd en Suisse.

Remo Bürgi, Faktor Journalisten AG



Le site de forage du premier puits (SLA-1), situé à côté de l'entreprise Grob Gemüse AG, dans la commune thurgovienne de Schlattlingen (source : Nagra).

Mieux étudier et exploiter l'énergie souterraine

À Schlattlingen (TG), les serres d'un producteur de légumes sont chauffées grâce à la chaleur provenant d'environ 1200 mètres de profondeur. Un projet de recherche a récemment utilisé les forages profonds existants afin d'étudier plus précisément l'origine, la circulation et la composition chimique de l'eau thermique. L'objectif était d'approfondir les connaissances fondamentales sur l'aquifère du Muschelkalk, afin d'améliorer à l'avenir son exploitation géothermique dans le nord de la Suisse.

Le nord de la Suisse est considéré comme une région prometteuse pour la géothermie, car des aquifères intéressants pour la géothermie sont présents dans le sous-sol à de nombreux endroits, comme c'est le cas dans la commune thurgovienne de Schlattlingen. Depuis 2016, la société locale Grob Gemüse AG chauffe ses serres avec de la chaleur issue du sous-sol, sans émissions de CO₂, exploitée via deux forages profonds.

Un aquifère du Muschelkalk productif

Lors du premier forage vertical, puis du second forage dévié

horizontalement, l'aquifère du Muschelkalk supérieur a été intercepté à une profondeur d'environ 1 200 mètres. De l'eau à environ 62 °C est pompée depuis cet horizon vers la surface. Les deux puits permettent un débit cumulé pouvant atteindre durablement jusqu'à 10 litres par seconde.

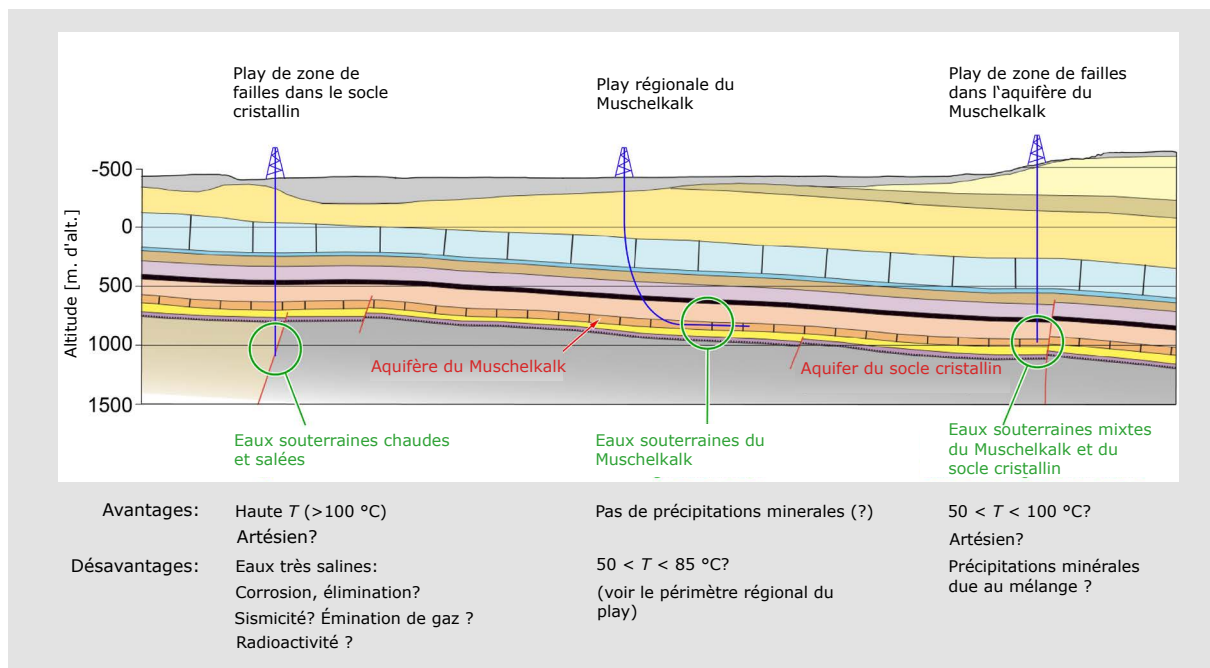
Afin d'acquérir des connaissances sur la formation, l'origine, les voies d'écoulement des eaux souterraines ainsi que les possibilités d'exploitation à long terme de l'aquifère du Muschelkalk, un projet de recherche d'une durée de deux ans a été lancé en 2023, avec le soutien de l'Office fédéral

de l'énergie et du canton de Thurgovie. La société Grob Gemüse AG, à l'origine de l'exploitation géothermique, a mis à disposition les forages ainsi que des échantillons d'eau pour les analyses scientifiques.

Origines distinctes des eaux thermales?

Grâce à l'analyse des échantillons d'eau, les chercheurs ont pu démontrer que l'eau des deux puits avait des origines différentes. L'eau du forage vertical provient de précipitations tombées pendant la dernière période glaciaire dans le sud de la Forêt-Noire. Dans cette région, les roches du





Les analyses ont révélé l'existence de trois cibles géologiques intéressantes (en anglais : « play ») pour une future exploitation géothermique (graphique : rapport final MK-Aquifer-Charakterisierung, 2026, édité).

Muschelkalk, présentent à Schlatingen à 1 200 mètres de profondeur, affleurent en surface et permettent l'infiltration des eaux météoriques.

En revanche, une part importante de l'eau provenant du forage dévié provient du socle cristallin, c'est-à-dire de formations rocheuses encore plus profondes. Des modélisations numériques ont permis de montrer que la remontée d'eau se produit le long de zones de failles, c'est-à-dire dans des fractures et fissures. Sur la base de ces résultats, les chercheurs recom-

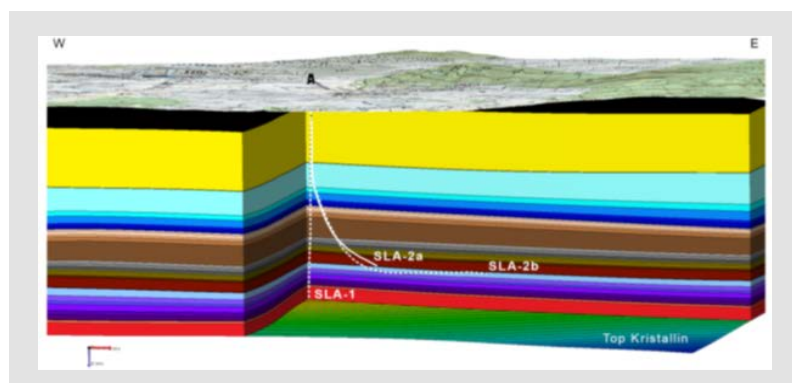
mandent que les futures investigations dans le canton de Thurgovie et le nord de la Suisse se concentrent sur trois cibles géologiques distinctes : l'aquifère régional du Muschelkalk, les zones de failles perméables (c.-à-d. conductrices de fluides) dans le Muschelkalk et les zones de failles perméables dans le socle cristallin.

Bases décisionnelles pour de futurs projets

Parallèlement, le projet a également mis en évidence les défis liés à l'exploitation des eaux souterraines profondes. Ainsi, les

dépôts ou précipitations minérales peuvent par exemple entraîner des obstructions et des problèmes techniques au niveau des installations de pompage, tandis qu'une forte salinité favorise la corrosion. Ces résultats permettent d'identifier à l'avance des mesures de mitigation appropriées.

Grâce à l'utilisation de la chaleur souterraine, Grob Gemüse AG économise chaque année environ un demi-million de litres de mazout, soit 1 500 tonnes d'émissions de CO₂ en moins. Les nouvelles connaissances issues du projet de recherche, achevé à l'automne 2025, fournissent des bases décisionnelles importantes pour augmenter les chances de succès de futurs projets géothermiques. Dans une prochaine étape, d'autres sites dans le canton de Thurgovie et le nord de la Suisse seront étudiés afin d'exploiter la chaleur du sous-sol profond.



Modèle géologique avec coupe verticale le long du premier forage (SLA-1) et du deuxième forage (SLA-2), réalisés respectivement en 2011 et 2013 (source : Bläsi et al., 2014).

Sandra Aeberhard, Faktor Journalisten AG

Alternatives aux radiateurs de chauffage

Les émissions de CO₂ dans le secteur du bâtiment doivent être réduites. Mais quelle est la meilleure approche pour les logements existants : se contenter de remplacer le système de chauffage fossile ? Ou améliorer en même temps l'isolation de l'enveloppe du bâtiment ? Une analyse représentative met en avant une autre option : le remplacement du système de diffusion de chaleur.

En matière de protection du climat aussi, tous les chemins mènent à Rome. Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre dans le secteur du bâtiment, différentes options sont recommandées dans la pratique : soit on améliore l'isolation de chaque maison afin de réduire les besoins en énergie, soit on remplace le chauffage fossile pour faire place à un système énergétique renouvelable et à faibles émissions de CO₂. Dans l'idéal, ces deux mesures peuvent être combinées. L'approche combinée, associant isolation et rem-

placement du système de chauffage, promet même des avantages multiples : non seulement les émissions de CO₂ diminuent, mais les besoins en énergie et les frais d'exploitation peuvent également être considérablement réduits. En effet, une maison bien isolée peut être équipée d'un système de chauffage dont la puissance est nettement inférieure à celle de l'ancien système.

À la recherche d'alternatives

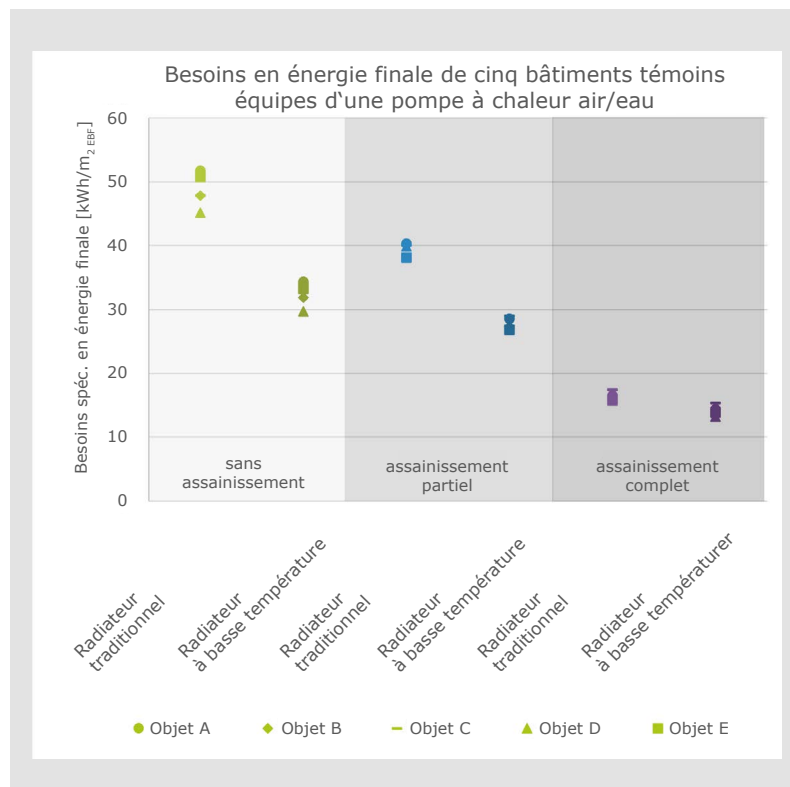
Toutefois, le programme de rénovation complet coûtera plus cher

que des améliorations ponctuelles. Les propriétaires immobiliers s'intéressent donc d'autant plus à ce qui génère le plus grand effet par rapport aux coûts. Un consortium regroupant des acteurs du secteur de la planification et des scientifiques s'est également demandé s'il existait des alternatives rentables à la rénovation complète d'un bâtiment. Avec le soutien de l'Office fédéral de l'énergie, il a examiné les avantages énergétiques et économiques de différentes variantes, établies ou innovantes, de rénovation des bâtiments. Pour cette étude pratique des options de rénovation, une condition préalable a été posée : les objectifs de la stratégie énergétique et de la stratégie climatique de la Confédération doivent être atteints de manière égale.

Quelle est la solution la moins coûteuse ?

Les modélisations réalisées sur la base de cinq immeubles collectifs existants ont abouti à la conclusion suivante : le remplacement du système de chauffage fossile par une pompe à chaleur permet de réaliser les plus grandes économies en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Celles-ci diminuent même de 80 % lorsque l'électricité utilisée pour faire fonctionner la pompe à chaleur provient d'une source renouvelable.

Une rénovation complète, c'est-à-dire l'isolation de l'enveloppe du bâtiment, peut certes réduire les émissions supplémentaires. Mais



La comparaison des options de rénovation pour cinq immeubles d'habitation existants montre que l'utilisation de systèmes de diffusion à basse température permet de réaliser des économies d'énergie significatives en matière de chauffage (source : Lemon Consult, édité).



Les systèmes de chauffage par le plafond à grande surface permettent de diffuser la chaleur à basse température (source : SOLTOP Energie AG).

selon l'étude, cette mesure a un coût supplémentaire relativement élevé. Pour la première fois, le remplacement du système de diffusion de chaleur (WAG) est proposé comme alternative : le bilan carbone des bâtiments résidentiels étudiés peut ainsi être amélioré presque aussi efficacement qu'avec une rénovation complète, le remplacement du système de diffusion coûtant nettement moins cher.

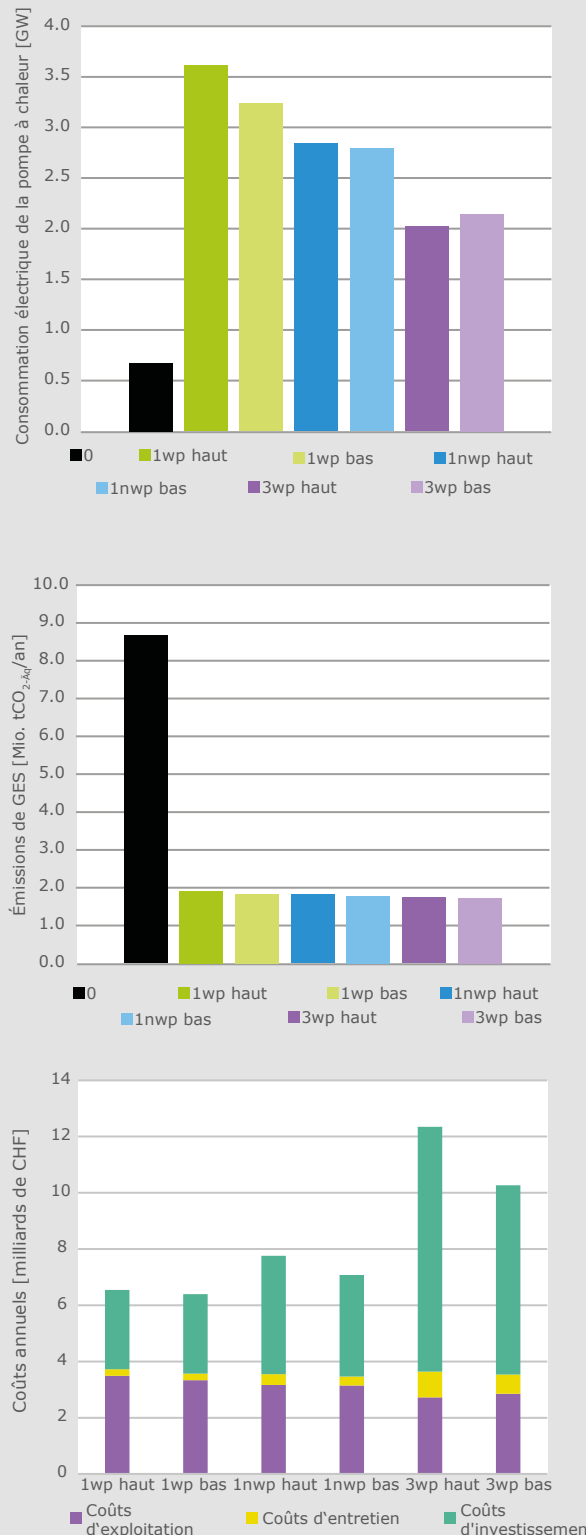
Diffusion de la chaleur par surface

La particularité de ces systèmes est qu'ils diffusent la chaleur dans une pièce sur une grande surface, ce qui permet de régler la température de départ du chauffage à des niveaux plus bas qu'avec des radiateurs conventionnels. Ce principe s'applique aussi bien aux chauffages au sol qu'aux éléments chauffants de grande surface pouvant

être installés sur un mur ou sous le plafond, sans perte de confort thermique.

Les systèmes de diffusion de chaleur à basse température améliorent en outre l'efficacité de la production de chaleur. Le fait de ne chauffer l'eau de départ qu'à 35 °C à 45 °C, au lieu d'environ 60 °C comme pour un radiateur, épargne beaucoup de travail à une





1 wp : scénario avec pompe à chaleur et système de diffusion de chaleur à haute température

1 nwp : scénario avec pompe à chaleur et système de diffusion de chaleur à basse température

3 wp : scénario avec rénovation complète de l'enveloppe du bâtiment, pompe à chaleur et système de diffusion de chaleur à haute température

Haute : scénario avec une température de départ de 55 °C au point de conception

Basse : scénario avec une température de départ de 60 °C au point de conception

(haut) La puissance requise d'une pompe à chaleur diminue lorsque le chauffage est assuré par un système à basse température (scénario : 1nwp) plutôt que par un système de chauffage à haute température (scénario : 1wp). Le scénario 3wp correspond à la rénovation de l'enveloppe du bâtiment.

(milieu) Les émissions annuelles de gaz à effet de serre diminuent presque autant lors du passage d'un système de diffusion de chaleur à haute température (scénario : 1wp) à un système de diffusion de chaleur à basse température (scénario : 1nwp) qu'après une rénovation de l'enveloppe du bâtiment (scénario : 3wp).

(bas) Les coûts annuels d'exploitation et d'investissement pour le chauffage du bâtiment (avec pompe à chaleur) sont nettement inférieurs après le passage d'un système de diffusion de chaleur à haute température (scénario : 1wp) à un système de diffusion de chaleur à basse température (scénario : 1nwp) qu'après une rénovation de l'enveloppe du bâtiment (source : rapport finale EFFIWAG, 2025, édité).

pompe à chaleur – et augmente d'autant son rendement.

La puissance, un nouvel indicateur

L'étude de la WAG a également examiné le potentiel d'amélioration à un niveau global : que se passerait-il si tous les bâtiments de Suisse étaient équipés d'un système de diffusion à basse température ? La réponse est une fois de plus prometteuse : si la surface de chauffage dans les maisons est agrandie et la température de départ réduite, l'installation de chauffage nécessite moins de puissance. Dans le cas d'une pompe à chaleur, cela signifie que la baisse des besoins maximaux en puissance électrique a un effet positif sur l'approvisionnement en électricité de la Suisse pendant la saison de chauffage.

En effet, la consommation électrique des pompes à chaleur est déterminante pour l'approvisionnement en électricité en hiver. Car l'électricité que toutes les pompes à chaleur consomment ensemble lors de la journée la plus froide doit pouvoir être fournie immédiatement. Un pic de puissance élevé signifie que le chauffage des bâtiments nécessite beaucoup d'électricité. En contrepartie, chaque système de chauffage dont la puissance de pointe peut être réduite contribue à soulager le réseau électrique national.

Le passage d'un système de diffusion de chaleur à haute température à une variante à basse température présente donc de multiples avantages : le propriétaire a besoin de moins d'énergie pour faire fonctionner la pompe à chaleur. Et la Suisse peut réduire ses besoins en électricité en hiver.

Des subventions pour le remplacement du système de diffusion de chaleur ?

L'étude aborde également la manière dont la diffusion des systèmes de diffusion à basse température peut être améliorée dans la pratique. Une enquête menée auprès de spécialistes a mis en évidence des possibilités d'amélioration sur les plans technique et réglementaire. Parmi les obstacles immédiats figurent notamment le manque de place pour des radiateurs de grande taille à l'intérieur des locaux ou l'importance des travaux nécessaires à l'installation a posteriori d'un chauffage au sol. Toutefois, on acquiert déjà aujourd'hui une expérience pratique de la conversion des systèmes de diffusion existants au fonctionnement à basse température, moyennant des coûts supplémentaires raisonnables. Dès qu'un remplacement du système de chauffage fossile est prévu, l'étude préconise désormais d'examiner systématiquement la possibilité de remplacer simultanément le système

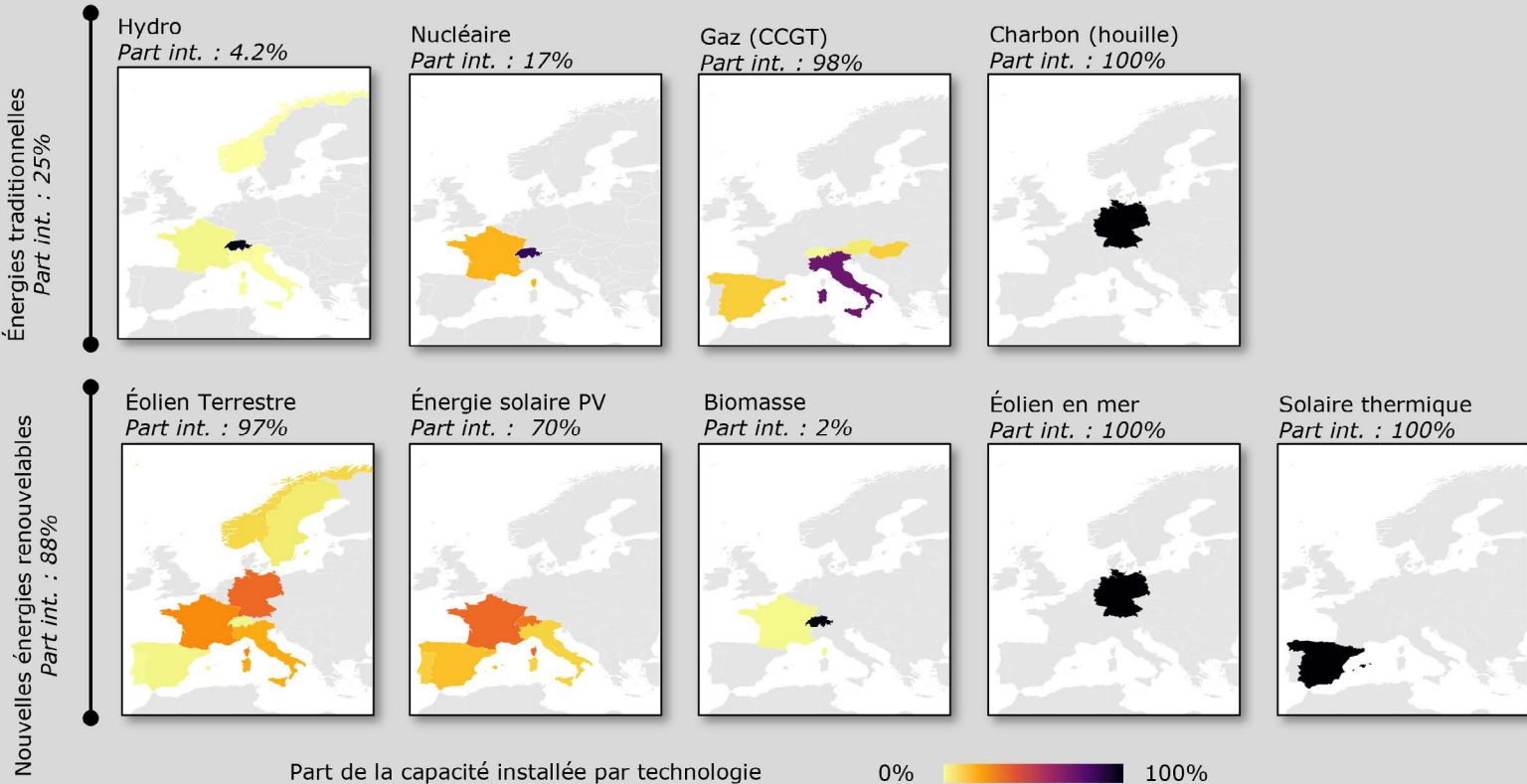
de diffusion de chaleur. Cette mesure de rénovation pourrait notamment être encouragée par les cantons. En effet, le passage à un système de diffusion de chaleur à basse température permettrait de soutenir financièrement.

Mettre davantage l'accent sur le système de diffusion

Le certificat énergétique cantonal des bâtiments (CECB) pourrait également contribuer à optimiser davantage la diffusion de chaleur et les besoins en puissance de chauffage. Par exemple, l'évaluation des bâtiments, qui se base jusqu'à présent sur les besoins en chaleur de chauffage, devrait en outre indiquer la température maximale nécessaire de l'eau de chauffage.

L'étude recommande de manière générale d'accorder davantage d'attention au remplacement des systèmes de diffusion de chaleur. Cela nécessite des mesures variées à différents niveaux. À cet égard, de nombreuses voies resteront ouvertes à l'avenir pour exploiter de manière ciblée le potentiel d'efficacité du parc immobilier existant.

Paul Knüsel, Faktor Journalisten AG



L'étude a également examiné les technologies dans lesquelles les fournisseurs d'énergie suisses investissent plutôt à l'étranger et celles dans lesquelles ils investissent plutôt en Suisse. Les résultats montrent que pour les technologies conventionnelles telles que l'hydroélectricité et l'énergie nucléaire, les investissements se font principalement en Suisse et seule une petite part (respectivement 4,2 % et 17 %) des fonds est consacrée à des projets étrangers. En revanche, les investissements dans les technologies à forte intensité de CO₂, telles que les centrales à gaz et à charbon, sont presque exclusivement réalisés à l'étranger. De même, pour les « nouvelles » énergies renouvelables, on observe davantage d'investissements dans des projets étrangers qu'en Suisse. La seule exception est la biomasse, dans laquelle les investissements sont principalement réalisés en Suisse (graphique : rapport final FINDIT, 2025, édité).

Les acteurs suisses investissent dans la transition énergétique – mais surtout à l'étranger

La transition vers un approvisionnement énergétique respectueux du climat nécessite beaucoup de capitaux. Une étude a examiné quelles entreprises suisses investissent dans la transition énergétique, comment et où. Résultat : des sommes importantes sont consacrées à des projets à l'étranger.

Pour que la transition énergétique soit couronnée de succès, il faut des technologies adaptées, une acceptation sociale, des conditions-cadres favorables – et de l'argent. Jusqu'à présent, on ne savait toutefois pas quels acteurs du secteur privé investissaient dans les énergies renouvelables, ni combien ni où exactement. L'Office fédéral de l'énergie a donc soutenu une étude de l'EPF Zurich qui a examiné de plus près les flux d'investissement dans la transformation de l'approvisionnement énergétique.

Investissements suisses à l'étranger

Afin d'identifier des tendances générales, les chercheurs ont analysé, dans les 38 pays de l'OCDE,

l'ensemble des flux financiers entre 2004 et 2022 vers des installations produisant de l'énergie renouvelable. Les technologies étudiées comprenaient principalement l'éolien terrestre et offshore, le photovoltaïque, ainsi que la biomasse et la valorisation des déchets. Les résultats montrent que les capitaux étrangers jouent un rôle important dans la transition énergétique de nombreux pays, mais à des degrés très variables.

Les entreprises suisses investissent beaucoup dans des projets à l'étranger par rapport à la taille du marché national des énergies renouvelables. Comparé à d'autres pays de l'OCDE, cela est assez atypique. Les investissements ont été réalisés principalement dans les

pays européens voisins – notamment en Allemagne, en France et en Italie – ainsi que dans les pays d'Europe du Nord et aux États-Unis. L'une des raisons de ces investissements dans des projets étrangers pourrait être que la réalisation de grandes installations énergétiques est perçue en Suisse comme plus coûteuse et moins lucrative, notamment en raison de la complexité des procédures d'autorisation, de la disponibilité limitée des terrains et des possibilités de mise à l'échelle restreintes.

Fournisseurs d'énergie actifs

Il est également intéressant d'examiner de plus près les acteurs concernés. Les banques ne sont pas les seules à réaliser des investis-

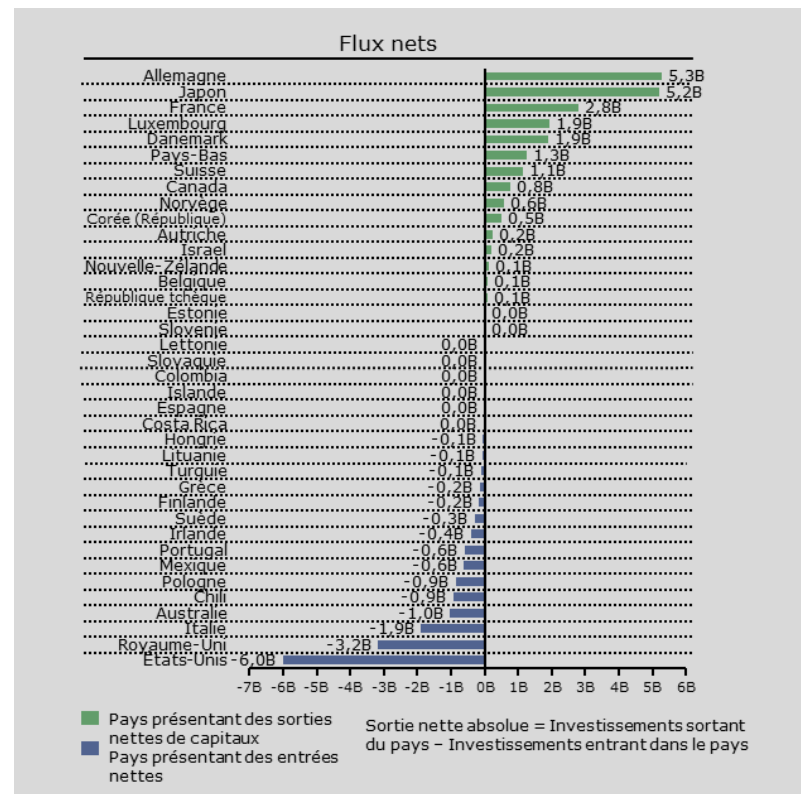


sements notables dans la production d'énergie renouvelable – leur engagement est d'ailleurs inférieur à la moyenne compte tenu de la taille de la place financière. Ce sont surtout les fournisseurs d'énergie qui jouent un rôle actif.

L'équipe du projet a examiné, à partir des données disponibles et d'entretiens menés par ses soins, les motivations et les obstacles liés aux décisions d'investissement de ces acteurs suisses. Il est intéressant de noter que leurs motivations varient. Alors que pour les institutions financières, ce sont principalement les perspectives de rendement qui sont déterminantes, les considérations réglementaires et sociétales jouent également un rôle pour les fournisseurs d'énergie. Cela conduit d'une part à ce qu'ils financent également des projets en Suisse, même si ceux-ci ne sont pas attractifs en termes de rendement. De plus, ces considérations influencent le choix des pays d'investissement : l'accent reste mis sur l'Europe, voire uniquement sur les pays voisins.

La politique climatique est déterminante

L'étude met en outre en évidence un lien entre le cadre politique climatique d'un pays et l'ampleur des investissements étrangers. Plus la politique climatique d'un État est ambitieuse et crédible, plus les



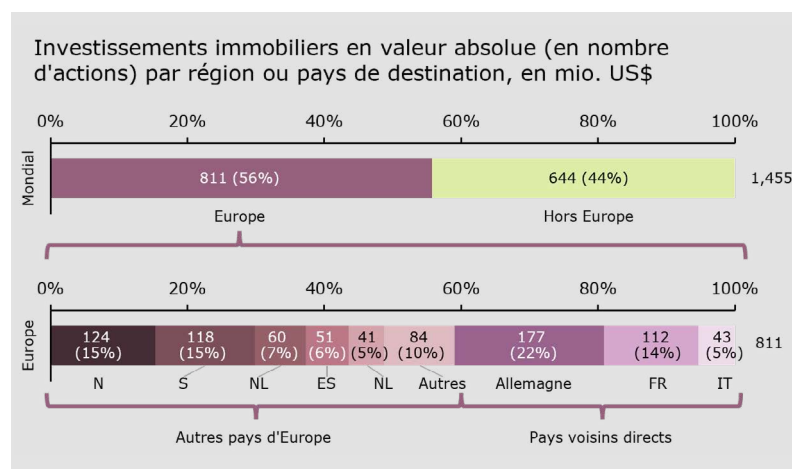
Le graphique présente le bilan des flux d'investissement dans les énergies renouvelables dans les 38 pays de l'OCDE. Avec une sortie nette d'environ 1,1 milliard de dollars américains, la Suisse fait partie des pays où les sorties d'argent sont supérieures aux entrées (graphique : Eberhart et al., 2025, édité).

fonds étrangers affluent vers les projets correspondants. Une politique fiable est donc un facteur important pour attirer les capitaux étrangers.

L'analyse montre en outre qu'en Suisse, ce ne sont ni le capital ni la volonté qui manquent pour investir dans des installations de produc-

tion d'énergie renouvelable. Le problème réside plutôt dans le fait qu'il y a trop peu de projets réalisables en raison de la complexité du cadre réglementaire.

Selon les chercheurs, la Suisse contribue déjà aujourd'hui à la transition énergétique mondiale au-delà de ses frontières. L'amélioration des conditions-cadres au niveau national pourrait renforcer encore son rôle et en faire un moteur des investissements mondiaux dans le système énergétique de demain.



Où vont les investissements suisses ? Un peu plus de la moitié est consacrée à des projets en Europe (barre supérieure). Outre la Norvège et la Suède, les voisins directs que sont l'Allemagne et la France constituent les principales destinations d'investissement (barre inférieure) (source : rapport final FINDIT, 2025, édité).

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 Technology Collaboration Programmes de l'AIE

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

Participation aux programmes de coopération européens

	Accelerating CCS Technologies (act-ccs.eu)		Clean Energy Transition Partnership (cetpartnership.eu)
	Concentrated Solar Power (csp-eranet.eu)		Driving Urban Transitions (dutpartnership.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

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