



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN
Commission fédérale pour la recherche énergétique CORE

PLAN DIRECTEUR

de la recherche énergétique
de la Confédération

2025–2028

Le présent plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération fait office d'instrument de planification. Il doit contribuer à organiser l'approvisionnement énergétique suisse de demain en prenant en compte à la fois des aspects technologiques et des aspects relevant des sciences sociales, et en étudiant les interactions entre ceux-ci.

Le comportement des différents acteurs, la réaction de ces derniers aux mesures politiques et le fonctionnement des marchés de l'énergie et du système socio-technique dans sa globalité sont au cœur de la priorité **«Économie, société et mesures politiques»**. La recherche doit apporter des connaissances solides qui permettent d'organiser les marchés, la politique et les institutions de sorte à ce qu'ils soutiennent l'efficacité énergétique et le passage à des énergies renouvelables, bénéficient d'une acceptation large, et soient au service du bien-être individuel.

La priorité **«Systèmes énergétiques»** met l'accent sur l'intégration des énergies renouvelables dans le système énergétique actuel. L'enjeu consiste à mettre au point des systèmes énergétiques plus flexibles et plus résilients, capables de mieux intégrer la part croissante des énergies renouvelables. Cela comprend le développement et l'optimisation de mécanismes de flexibilité, de technologies de stockage et de systèmes qui soutiennent le couplage des secteurs.

L'axe **«Habitat et travail»** vise à trouver des solutions innovantes pour un habitat, une rénovation et une construction efficaces sur le plan énergétique et minimisant les émissions de GES. L'objectif est que le parc immobilier puisse être agrandi, modifié et exploité de manière neutre sur le plan climatique et efficace sur le plan énergétique. Les développements technologiques pour le stockage, la mise à disposition et la réduction de la demande d'énergie seront analysés, développés et optimisés tant en termes d'efficacité énergétique que d'émissions de GES. En outre, les aspects sociologiques sont étudiés, comme le comportement des utilisateurs et l'acceptation de nouveaux développements de bâtiments et de sites efficaces sur le plan énergétique.

La priorité **«Mobilité»** se focalise sur l'encouragement de formes de mobilité durables. Des technologies et des concepts permettant de mettre à disposition, de stocker et d'utiliser efficacement l'énergie aux fins de la mobilité et de l'intégration de cette dernière dans le système énergétique sont au cœur des travaux. Par ailleurs, des aspects socio-économiques tels que l'acceptation et l'utilisation de la recharge bidirectionnelle et de solutions de mobilité durables sont également étudiés dans l'objectif d'une mobilité aussi efficace que possible au plan énergétique et en termes d'émissions.

La priorité **«Processus industriels»** porte sur l'efficacité énergétique et le recours aux énergies renouvelables dans les processus industriels. Il s'agit ici de développer et de tester des technologies et concepts visant une utilisation efficace de l'énergie dans l'industrie. Les travaux portent également sur la manière de rendre les processus davantage respectueux des ressources et de réduire l'utilisation des agents énergétiques fossiles.

Des thématiques transversales se retrouvent dans plusieurs priorités: la flexibilité et la résilience du système dans son ensemble, le stockage de l'énergie, le couplage des secteurs, la chaleur et le froid, le captage du CO₂ et les technologies à émissions négatives. Certains thèmes de recherche qui émergeaient déjà au cours de la période précédente et revêtaient déjà une importance sont ainsi approfondis.

Le plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération aborde une large palette de thèmes et rassemble des connaissances technologiques et relevant des sciences sociales, dans le but de soutenir les objectifs fixés par la Confédération, notamment la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050 et la réalisation des objectifs climatiques.

TABLES DES MATIÈRES

Introduction	4
Aperçu de la politique énergétique	7
Orientation stratégique de la recherche énergétique.....	8
Bases légales	8
Retour sur la période allant de 2021 à 2024.....	9
Sujets de recherche 2025–2028	11
Économie, société et mesures politiques	14
Systèmes énergétiques.....	22
Travail et habitat	30
Mobilité	38
Processus industriels.....	44
Principes régissant la recherche énergétique.....	49
Mise en œuvre par l’OFEN.....	51
Financement	54
Fonds publics alloués à la recherche énergétique.....	54
Les moyens à la disposition de l’OFEN.....	55
Acteurs et interfaces	56
Acteurs nationaux et interfaces	56
Intégration au plan international.....	58
Commissions d’accompagnement scientifique et assurance de la qualité	59
Commissions d’accompagnement.....	59
Assurance de la qualité	59
Impressum	61

INTRODUCTION

L'administration fédérale lance et soutient la recherche scientifique dont les résultats servent à l'accomplissement de sa mission. La recherche scientifique réalisée dans l'intérêt public est communément appelée «recherche de l'administration fédérale». En font partie, par exemple, la mise à disposition de bases scientifiques pour le développement et l'aménagement de politiques dans différents domaines, pour les travaux d'exécution des prescriptions légales, pour les travaux législatifs ou encore pour les réponses aux interventions parlementaires et leur mise en œuvre. La recherche de l'administration fédérale peut inclure pratiquement tout le spectre de la recherche scientifique, de la recherche fondamentale au développement – par exemple dans le domaine de la mise en place d'installations pilotes et de démonstration – en passant par la recherche appliquée. Elle inclut également la mise en œuvre de mesures d'accompagnement de la recherche et le transfert de savoir et de technologie. Ses bases légales sont claires: outre l'art. 64 de la Constitution fédérale ([RS 101](#)), la loi fédérale sur l'encouragement de la recherche et de l'innovation (LERI; [RS 420.1](#)) est la loi-cadre pour la recherche de l'administration fédérale.

Mis à part son inscription dans la LERI, la recherche de l'administration fédérale se fonde sur des dispositions légales spécifiques et sur les ordonnances correspondantes. Dans ces prescriptions légales, la Confédération a défini des obligations spécifiques pour la réalisation de travaux de recherche intramuros et pour l'allocation de contribution (subventions) à des établissements, des programmes ou des projets de recherche. En outre, certaines obligations découlant de participations, de conventions ou d'accords internationaux impliquent le recours à la recherche de l'administration fédérale. Celle-ci joue dès lors un rôle important également sur le plan international.

Le présent plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération¹ est utilisé comme instrument de planification de la recherche énergétique par les instances décisionnelles de la Confédération et fait office de ligne directrice pour les autres organes (cantonaux et communaux) de la recherche énergétique. Bien qu'elle soit tournée vers l'avenir, la recherche est influencée par les décisions politiques actuelles.

L'acte modificateur unique, qui comprend la révision de la loi sur l'énergie (LEne) et de la loi sur l'approvisionnement en électricité (LApEI), pose des jalons importants du futur approvisionnement énergétique de la Suisse. Le Parlement a adopté les objectifs principaux suivants:

- Renforcer la sécurité de l'approvisionnement en électricité, notamment en hiver;
- Orienter le système énergétique de la Suisse (et en particulier le système électrique) vers l'objectif de zéro net d'ici 2050, fixé par le Conseil fédéral; en d'autres termes: il s'agit de créer les conditions-cadres qui rendront possible la décarbonation et l'électrification de ce système;
- Encourager l'innovation dans le système électrique tout en améliorant l'efficacité du système
- S'assurer que les clients participent activement au système électrique.²

En vertu de la révision, la LEne fixe des valeurs cibles pour la production d'électricité issue des énergies renouvelables (sans la force hydraulique) de 35 TWh d'ici à 2035 (45 TWh d'ici à 2050) et pour la production d'électricité d'origine hydraulique de 37,9 TWh d'ici à 2035 (39,2 TWh d'ici à 2050). Pour ce faire, les procédures d'autorisation seront simplifiées et des encouragements seront rendus possibles. L'acte modificateur unique comprend également, entre autres, des objectifs de consommation, une réserve d'hiver et des communautés électriques locales.

En acceptant le contre-projet indirect à l'initiative pour les glaciers «loi fédérale sur les objectifs en matière de protection du climat, sur l'innovation et sur le renforcement de la sécurité énergétique (LCI)» en juin 2023, le

peuple suisse a voté en faveur de l'abandon des énergies fossiles. La LCI vise une réduction des émissions de gaz à effet de serre, une adaptation et une protection face aux effets des changements climatiques, et une orientation des flux financiers de manière à les rendre compatibles avec un développement à faible émission capable de résister aux changements climatiques. La LCI est une loi-cadre, autrement dit: elle fixe, en premier lieu, des objectifs et des objectifs intermédiaires. La manière d'atteindre ces objectifs doit être définie dans d'autres lois. Le contre-projet fixe également les mesures suivantes: la possibilité, pour les entreprises, d'élaborer des feuilles de route visant à atteindre le zéro net, un encouragement de l'innovation et un programme d'impulsion de remplacement des installations de production de chaleur ainsi que des mesures dans le domaine de l'efficacité énergétique. L'art. 53 LEne est adapté au titre de la modification d'autres actes et, avec lui, les directives du programme pilote et de démonstration: désormais, les projets de démonstration peuvent être encouragés à hauteur de 50% des coûts imputables, et le taux d'encouragement peut même atteindre 70% dans certains cas exceptionnels concernant des projets pilotes. D'autres instruments sont mis en place sous la conduite de l'OFEV, en collaboration avec l'OFEN.

Se basant sur le rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) relatif à un réchauffement climatique mondial de 1,5°C, le Conseil fédéral a décidé, lors de sa séance du 28 août 2019, de viser la neutralité carbone à partir de 2050³. Ainsi, il concrétise et renforce la décision selon laquelle la Suisse doit contribuer à contenir l'élévation de la température moyenne de la planète nettement en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préin-

dustriels et à limiter l'élévation de la température à 1,5°C, ce à quoi elle s'est engagée en ratifiant l'Accord de Paris en octobre 2017⁴. L'objectif de zéro net d'ici à 2050 sert de point de départ à la Stratégie climatique à long terme de la Suisse, adoptée par le Conseil fédéral le 27 janvier 2021⁵. Celle-ci prévoit une réduction des émissions de gaz à effet de serre de la Suisse de 50% d'ici à 2030 par rapport à leur niveau de 1990, et même une réduction à zéro d'ici à 2050. Ces objectifs sont utilisés comme base dans les Perspectives énergétiques 2050+, lesquelles présentent des scénarios pour les atteindre et montrent l'importance d'éviter les émissions de CO₂ ainsi que les méthodes permettant d'éliminer du CO₂ de l'atmosphère⁶.

L'expérience de l'hiver 2022/23 avec l'Initiative économies d'énergie Hiver et les mesures possibles pour faire face à une éventuelle pénurie (voir également OSTRAL⁷) – restrictions et interdictions d'utilisation, contingents et même délestages – montre l'importance d'un approvisionnement énergétique résilient et durable dans toutes ses dimensions. Pour ce faire, il convient de miser sur une flexibilisation de la fourniture d'énergie et de la consommation énergétique, sur le stockage de l'énergie et sur l'augmentation de l'efficacité énergétique.

Le présent plan directeur de la recherche énergétique dans le domaine de la politique énergétique concerne la période de recherche de 2025 à 2028. Les priorités de

recherche ont été définies par la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE), puis élaborées avec le concours d'autres spécialistes et de scientifiques. La CORE énonce comme principal objectif le développement interdisciplinaire de stratégies et de technologies énergétiques nouvelles, réalisables et acceptées. L'importance croissante des technologies transversales implique une collaboration sensiblement accrue entre les domaines de recherche techniques ainsi qu'entre les disciplines techniques et les sciences humaines et sociales (SHS).

1 – L'administration fédérale lance et soutient la recherche scientifique dont les résultats servent à l'accomplissement de sa mission. Cette recherche réalisée dans l'intérêt public est communément appelée «recherche de l'administration fédérale». En font partie, par exemple, la mise à disposition de bases scientifiques pour le développement et l'aménagement de politiques dans différents domaines, pour les travaux d'exécution des prescriptions légales, pour les travaux législatifs ou encore pour les réponses aux interventions parlementaires et leur mise en œuvre. La recherche de l'administration fédérale peut inclure pratiquement tout le spectre de la recherche scientifique, de la recherche fondamentale au développement – par exemple dans le domaine de la mise en place d'installations pilotes et de démonstration – en passant par la recherche appliquée. Elle comporte également la mise en œuvre de mesures d'accompagnement et le transfert de savoir et de technologie. Ses bases légales sont claires: outre l'art. 64 de la Constitution fédérale (Cst.; [RS 101](#)), la loi fédérale sur l'encouragement de la recherche et de l'innovation (LERI; [RS 420.1](#)) est la loi-cadre pour la recherche de l'administration fédérale.

2 – Le Parlement a adopté le projet en septembre 2023. Un référendum a été lancé et les citoyens suisses seront appelés à se prononcer sur le projet le 9 juin 2024.

3 – [Le Conseil fédéral vise la neutralité climatique en Suisse d'ici à 2050 \(admin.ch\)](#), Berne, le 28.08.2019

4 – [RS 0.814.012 - Accord de Paris du 12 décembre 2015](#)

5 – [Stratégie climatique à long terme de la Suisse, 27 janvier 2021](#)

6 – [EP2050+ Exkurs Negativemissionstechnologien und CCS. Potenzielle, Kosten und Einsatz \(en allemand\)](#)

7 – OSTRAL est l'organisation pour l'approvisionnement en électricité en cas de crise. Elle dépend de l'Office fédéral pour l'approvisionnement économique du pays et devient active sur son ordre si une pénurie d'électricité survient. www.ostral.ch

APERÇU DE LA POLITIQUE ÉNERGÉTIQUE

La politique énergétique de la Suisse doit relever d'importants défis. Pour atteindre les objectifs fixés dans la Stratégie énergétique 2050 du Conseil fédéral, il convient de développer substantiellement les «nouvelles» énergies renouvelables et d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, de l'industrie, des transports et des appareils électriques. Une vue d'ensemble des résultats de recherche actuels est disponible dans le rapport «Recherche énergétique et innovation», publié chaque année par l'OFEN⁸.

Tant la Stratégie énergétique 2050 que les objectifs climatiques de la Suisse et les autres objectifs concernant les domaines de l'environnement et de la durabilité sont déterminants pour la recherche énergétique.

L'OFEN

Dans le domaine de l'énergie, l'OFEN est une instance de soutien essentielle. Pour mettre en œuvre le présent plan directeur, il dispose de ressources promotionnelles propres, à savoir ses programmes de recherche, son programme pour les projets pilotes et de démonstration et le programme d'encouragement SWEET ((SWiss Energy research for the Energy Transition; recherche de l'administration fédérale⁹). La tâche de la recherche énergétique de l'OFEN dépasse le cadre de la recherche de la Confédération proprement dit, puisque les programmes de recherche de l'OFEN visent à coordonner l'ensemble de la recherche énergétique menée en Suisse avec la participation des pouvoirs publics et qu'ils soutiennent, à titre subsidiaire, les projets de recherche et les projets pilotes et de démon-

stration au service des objectifs de la Stratégie énergétique 2050 ainsi que des objectifs climatiques (not. SWEET).

L'OFEN établit chaque année la Statistique de la recherche énergétique de la Confédération¹⁰, qui renseigne sur les dépenses de la recherche énergétique financée par les ressources publiques et fournit une récapitulation détaillée des flux de capitaux. Selon le dernier recensement réalisé en 2022, l'OFEN était, derrière le domaine des EPF et UE, la troisième institution de soutien par ordre d'importance (12%), c'est-à-dire l'une des principales instances publiques d'encouragement¹¹. Une fois terminés les Programmes nationaux de recherche (PNR) et le développement de la capacité des centres de compétence nationaux dans le domaine de la recherche énergétique (Swiss Competence Centers for Energy Research, SCCER), et avec le nouveau programme d'encouragement SWEET, l'OFEN devrait être une institution publique d'encouragement dans le domaine énergétique encore plus importante.

La recherche énergétique est axée sur le long terme

De nouvelles façons de penser, de nouvelles approches et de nouvelles technologies sont nécessaires. Le fait de quitter les sentiers battus exige précisément une stratégie d'encouragement qui n'assimile pas systématiquement chaque franc investi dans la recherche à la réduction immédiate en kilowattheures. La recherche a besoin d'un espace de liberté qui lui donne la possibilité d'approfondir et de tester de nouvelles idées.

8 – www.recherche-et-cleantech.ch

9 – La «recherche de l'administration fédérale» désigne la recherche dont les résultats sont nécessaires à l'accomplissement des tâches de l'administration fédérale ou des autorités politiques fédérales ou la recherche que celles-ci initient parce qu'elle est d'intérêt public. La recherche de l'administration fédérale est décrite dans la LERI www.ressortforschung.admin.ch

10 – <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/approvisionnement/statistiques-et-geodonnees/statistiques-de-lenergie.html>

11 – Outre les instances publiques d'encouragement, les hautes écoles (en particulier le domaine des EPF) fournissent la plupart des subventions.

ORIENTATION STRATÉGIQUE DE LA RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE

«La recherche énergétique suisse apporte une contribution décisive à des modes de transformation, de fourniture, de stockage et d'utilisation de l'énergie à la fois performants et neutres en matière d'émissions. Elle vise un approvisionnement énergétique sûr, économique et respectueux de l'environnement, et soutient ainsi une politique de l'énergie efficace.» Ainsi, elle participe à la réalisation des objectifs fixés dans la LEné, dans la LAPeI ainsi que dans les autres lois et ordonnances qui concernent l'approvisionnement énergétique.

Au-delà des objectifs énergétiques, les objectifs climatiques sont d'une urgence absolue. D'après les scénarios du GIEC, de l'OFEN et de l'OFEV, il faudra non seulement réduire drastiquement les émissions de CO₂ mais aussi retirer durablement ce dernier de l'atmosphère¹². Les termes «Carbon Capture, Utilization and/or Storage» (Captage, utilisation et séquestration, abrégé CCUS dans le présent plan directeur) et «Technologies à émissions négatives» (NET) désignent plusieurs approches et technologies destinées à éviter les émissions de CO₂, à stocker celles qui ne peuvent l'être, et parfois même à les extraire de l'atmosphère¹³. Dans le domaine du CCUS et des NET, la recherche énergétique porte en premier lieu sur les aspects en lien avec l'énergie: cela concerne à la fois le recours direct au CCUS et aux NET dans le secteur énergétique et les impacts d'un recours à large échelle sur la consommation énergétique et les émissions de GES de la Suisse de manière générale. Un plan directeur de l'OFEN spécifique au CCUS et aux NET est disponible à la page www.recherche-et-cleantech.ch, et des informations complémentaires sont publiées sur le site Internet de l'OFEV.

La flexibilisation du système énergétique, le stockage saisonnier et les carburants et combustibles durables joueront, eux aussi, un rôle majeur dans la transformation du système énergétique. La production efficace et durable d'énergies renouvelables et la mise à disposition de l'infrastructure nécessaire (not. les réseaux) ainsi que l'augmentation de l'effi-

cacité énergétique doivent désormais être rapidement mises en œuvre et les questions de recherche en suspens doivent être clarifiées de manière ciblée.

BASES LÉGALES

L'engagement de la Confédération dans la recherche et l'encouragement de la recherche est légitimé à l'art. 64 de la Constitution fédérale (RS 101), qui dispose que la Confédération encourage la recherche scientifique et l'innovation.

L'encouragement de la recherche par l'OFEN repose sur la LEné (RS 730.0). En vertu de l'art. 49 LEné, la Confédération encourage la recherche fondamentale, la recherche appliquée et le développement initial de nouvelles technologies énergétiques, en particulier dans les domaines de l'utilisation économe et efficace de l'énergie, du transfert et du stockage de l'énergie ainsi que de l'utilisation des énergies renouvelables. La Confédération peut en outre soutenir des projets pilotes et de démonstration ainsi que des essais sur le terrain et des analyses visant à tester et à apprécier des techniques énergétiques, à évaluer des mesures de politique énergétique ou à recueillir les données requises.

Selon l'art. 29, al. 2, let. d, de l'ordonnance sur les ouvrages d'accumulation (OSOA; RS 721.101.1), l'OFEN a en outre la tâche d'encourager la recherche dans le domaine des ouvrages d'accumulation.

S'agissant du soutien financier, la loi sur les subventions (LSu; RS 616.1) et la loi fédérale sur l'encouragement de la recherche et de l'innovation (LERI; RS 420.1) s'appliquent.

En outre, pour le soutien de projets de recherche dans le cadre des réseaux de l'espace européen de la recherche (ERA-NET), l'OFEN s'appuie sur la motion Riklin (10.3142), qui demande au Conseil fédéral de permettre aux instituts de recherche et à l'industrie suisses de participer de plein droit au plan stratégique pour les technologies énergétiques (plan SET) lancé par la Commission européenne.

En vertu de l'art. 86 de la loi sur l'énergie nucléaire (LEnu; RS 732.1), la Confédération peut encourager la recherche appliquée sur l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire, en particulier sur la sécurité des installations nucléaires et sur l'évacuation des déchets radioactifs. L'art. 77 de l'ordonnance sur l'énergie nucléaire (OENU; RS 732.11) précise que les autorités de surveillance (OFEN et IFSN) soutiennent, par des aides financières, dans les limites des crédits accordés, les projets de recherche appliquée dans les domaines de la sécurité et de la sûreté des installations nucléaires et de l'évacuation des déchets radioactifs.

Liste des sources légales fondamentales

- Loi sur l'énergie (LEne; RS 730.0), art. 49;
- Loi sur les subventions (LSu; RS 616.1);
- Loi fédérale sur l'encouragement de la recherche et de l'innovation (LERI; RS 420.1);
- Ordonnance sur les ouvrages d'accumulation (OSOA; RS 721.101.1), art. 29;
- Loi sur l'énergie nucléaire (LEnu; RS 732.1), art. 86.

RETOUR SUR LA PÉRIODE ALLANT DE 2021 À 2024

Pénurie d'énergie

Alors qu'au cours des hivers 2022/23 et 2023/24, une pénurie d'énergie menaçait l'Europe, la situation a pu être évitée grâce à la mise en œuvre de différentes mesures au niveau européen, à des températures clémentes, à des appels à économiser l'énergie («Initiative économies d'énergie Hiver») et aux prix élevés du gaz et de l'électricité. À titre préventif, la Confédération a constitué des capacités de réserve pour faire face en cas d'urgence: ainsi, elle a signé un contrat avec trois centrales de réserve, a créé une réserve hydroélectrique et a mis sur pied des groupes électrogènes de secours regroupés en pools. Elle a également créé la possibilité d'augmenter, si nécessaire, les capacités de transport d'électricité sur certaines lignes du réseau. La branche gazière a, quant à elle, contracté des réserves de gaz ainsi que des capacités de stockage à l'étranger.

SWEET

L'OFEN a mis sur pied le nouveau programme d'encouragement de la recherche SWEET, qui porte sur une durée de douze ans. SWEET vise à promouvoir les innovations nécessaires à la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050 et à la réalisation des objectifs climatiques de la Suisse. Pour ce faire, des appels d'offres sont lancés pour des thèmes principaux qui sont ensuite traités au sein de consortiums.

Entre 2021 et 2024, les six thèmes principaux suivants ont fait l'objet d'un appel d'offres:

- Intégration des énergies renouvelables
- Living & Working
- Infrastructures critiques
- Co-évolution
- Sustainable fuels
- Zéro net

Des informations complémentaires sur le contenu, les consortiums et les premiers résultats sont disponibles sur le site Internet de l'OFEN, à la page dédiée au programme SWEET¹⁴.

Initiative Flagship

L'objectif de l'Initiative Flagship d'Innosuisse est de stimuler l'innovation dans des domaines qui concernent une grande partie de l'économie ou de la société et de promouvoir la collaboration transdisciplinaire au sein d'un projet. L'initiative s'efforce de trouver des solutions à des défis actuels ou futurs qui concernent plusieurs acteurs et/ou qui ne peuvent être résolus que par un travail en collaboration. Les appels à projets relevant du domaine de l'énergie étaient les suivants:

- Nouveaux matériaux et procédés
- Stockage, production et gestion en temps réel de l'énergie
- Efficacité énergétique et réduction des émissions

Des informations complémentaires sur les appels à projets, leur contenu, les consortiums et les premiers résultats sont disponibles sur le site Internet d'Innosuisse, à la page dédiée à l'initiative Flagship¹⁵.

Programmes nationaux de recherche (PNR)

Dans le cadre du cycle de sélection 2022, le Fonds national suisse (FNS) a lancé deux PNR potentiellement en lien avec la recherche énergétique. Une coordination thématique des PNR avec d'autres initiatives de recherche européennes (not. le Clean Energy Transition Partnership et le Driving Urban Transitions, voir ci-dessous) a été mise en place.

- PNR 81: Culture du bâti¹⁶
- PNR 82: Biodiversité et services écosystémiques¹⁷.

Pôles de recherche nationaux (PRN)

Dans la cinquième série (de 2020 à 2032), le FNS soutient deux PRN revêtant une importance pour la recherche énergétique. Des informations complémentaires sont disponibles sur le site Internet du FNS et sur les pages dédiées à chaque PRN.

- PRN Catalysis¹⁸ – Procédés chimiques durables grâce au développement de catalyseurs
- PRN Automation¹⁹ – Automation fiable et omniprésente

Appels d'offres²⁰

CETP: La Clean Energy Transition Partnership (CETP) est une initiative transnationale regroupant les programmes de financement de plusieurs pays dans les domaines de la recherche, du développement technologique et de l'innovation. Cette initiative soutient et accélère la transformation vers un approvisionnement énergétique durable en Europe et au-delà. Le CETP encourage la réalisation de l'objectif de l'UE de devenir le premier continent climatiquement neutre d'ici 2050. Il réunit pour cela des moyens financiers nationaux et régionaux qui doivent permettre de développer une large gamme de technologies et de systèmes. L'OFEN a participé à plusieurs appels d'offres portant sur différentes initiatives de transition, en collaboration avec le Fonds national suisse (FNS). Des informations détaillées et actualisées sont disponibles sur les sites dédiés au CETP²¹.

DUT: Le Driving Urban Transitions (DUT)²² est un partenariat européen qui rassemble plus de 60 partenaires de 27 pays, parmi lesquels

des autorités, des responsables et des organismes de financement nationaux et régionaux ayant pour but d'investir dans la recherche et l'innovation urbaines et de créer et renforcer un système européen d'innovation pour le changement urbain. Afin de soutenir les villes dans leurs stratégies spécifiques, le partenariat se concentre sur trois secteurs critiques et leurs interactions, dans lesquels il a lancé plusieurs appels à projets.

Domaine des EPF (2022): Appel pour une initiative conjointe dans la priorité stratégique Énergie, climat et durabilité de l'environnement du domaine des EPF²³. Cet appel à propositions doit rendre possible l'élaboration rapide de solutions dans le champ de tension existant entre climat, énergie et environnement par le domaine des EPF, dans le cadre d'un dialogue avec la société.

OFEN: En 2023, l'OFEN a ouvert le premier appel à projets pour un projet «sandbox» (voir [page 52](#)), sur le thème «Soulagement du réseau électrique par une utilisation pertinente de l'énergie». D'autres appels à projets ont été lancés depuis, par exemple dans le cadre des programmes de recherche de l'OFEN «Énergie, économie, société (EES)», «Réseaux», «Mobilité»; l'ensemble des appels d'offres de l'OFEN sont publiés sur la page «Appels d'offres»²⁴.

12 – <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/info-specialistes/extraction-et-stockage-du-co2.html>

13 – L'impact de ces approches sur le climat dépend de la source de CO₂: si les émissions de CO₂ sont d'origine fossile, la technologie CCUS permet d'éviter les émissions. Si elles sont d'origine biogène, le CO₂ est extrait de l'atmosphère, ce qui entraîne la production d'émissions négatives.

14 – www.sweet.ch

15 – <https://www.innosuisse.ch/innofr/home/encouragement-de-projets-nationaux/initiative-flagship/appel-a-projets.html>

16 – www.nfp81.ch

17 – www.nfp82.ch

18 – www.nccr-catalysis.ch

19 – <https://nccr-automation.ch/>

20 – Voir également SWEET et Initiative Flagship; non exhaustif

21 – <https://cetpartnership.eu/>, www.bfe.admin.ch/cetp

22 – <https://dutpartnership.eu/>, <https://www.bfe.admin.ch/dut>

23 – <https://lethrat.ch/fr/domaine-des-epf/initiatives-conjointes/>, <https://www.psi.ch/en/strategic-areas-eth-domain/call-jointinitatives-jan2022>

24 – <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/actualites-et-medias/appels-d-offres.html>

SUJETS DE RECHERCHE 2025–2028

Les priorités de recherche présentées ci-dessous correspondent à la vision de la CORE: «La recherche énergétique suisse apporte une contribution décisive à des modes de transformation, de fourniture, de stockage et d'utilisation de l'énergie à la fois performants et neutres en matière d'émissions. Elle vise un approvisionnement énergétique sûr, économique et respectueux de l'environnement, et soutient ainsi une politique de l'énergie efficace».

Aperçu des systèmes énergétiques

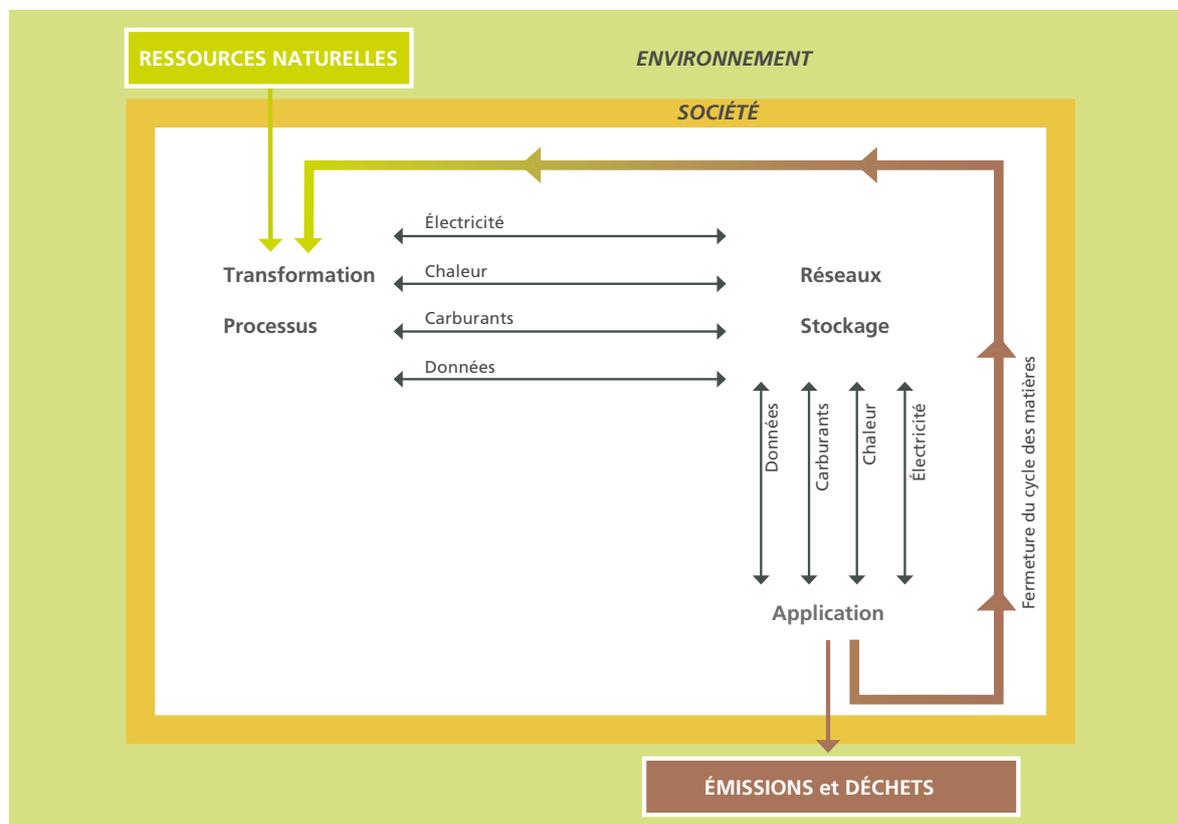


Figure 1: Vue simplifiée du système énergétique (CORE, sur la base d'informations du domaine des EPF). ©OFEN

L'illustration ci-dessus présente le système énergétique de manière très simplifiée. Les ressources naturelles présentes dans l'environnement sont prélevées et, par le biais de la transformation et des processus, mises à disposition sous forme d'agents énergétiques (électricité, chaleur, carburants et combustibles) et de produits. Ceux-ci sont distribués, stockés, puis à nouveau transformés ou consommés. Les rapports d'interdépendance et les interactions sont nombreux entre les multiples acteurs, les conditions-cadres et les

processus très variables. La recherche énergétique vise à comprendre cette complexité et, sur cette base, à trouver les meilleures possibilités de développement pour l'ensemble du système et de ses composantes, et à contribuer à la fermeture du cycle des matières. Même lorsqu'ils examinent des questions spécifiques, les chercheurs devraient s'efforcer d'adopter une perspective globale et d'évaluer leurs solutions à l'aune de la contribution qu'elles apportent à ces objectifs.

Flexibilité

La flexibilité dans les domaines de la production, de la distribution et de la consommation d'énergie constitue un facteur déterminant pour parvenir à un système énergétique durable et efficace. La mobilité électrique et les pompes à chaleur, qui sont en mesure de décaler dans le temps ou de réduire temporairement leur consommation d'énergie afin de stabiliser le réseau, font partie des principaux consommateurs flexibles. La gestion intelligente de ces consommateurs rend possible une utilisation plus efficace de l'énergie ainsi qu'une baisse des coûts au sein du système. Les véhicules équipés de la technologie [V2G \(Vehicle-to-Grid\)](#) l'illustrent. Ils peuvent prélever l'énergie excédentaire présente sur le réseau électrique, mais aussi injecter de l'énergie et, ce faisant, de contribuer à la stabilisation du réseau. Les [processus industriels](#) peuvent aussi, en partie, être flexibilisés, en particulier sur les sites interconnectés. De l'autre côté, les producteurs flexibles jouent, eux aussi, un rôle majeur. Les centrales hydroélectriques et les systèmes de Power-to-X, capables de stocker temporairement l'énergie excédentaire sous forme d'hydrogène ou de combustibles synthétiques, sont resp. seront à l'avenir des acteurs importants du système énergétique. L'intégration de ces producteurs flexibles pourrait permettre de réduire la dépendance vis-à-vis des combustibles fossiles et de faire progresser la réalisation des objectifs fixés dans la Stratégie énergétique 2050. Le cadre réglementaire doit rendre possible une exploitation optimale de la flexibilité au sein du système énergétique.

Couplage des secteurs

Le couplage des secteurs désigne le fait de relier et de faire interagir intelligemment différents systèmes d'approvisionnement en énergie. Il s'agit d'adopter une perspective globale, afin de développer des solutions qui rendront le système énergétique plus efficace et qui permettront, en particulier, l'intégration d'une part plus élevée d'énergies renouvelables (jusqu'à 100%). Parmi ces solutions figurent l'utilisation d'électricité renouvelable dans le secteur de la mobilité électrique ou en combinaison avec les pompes à chaleur dans le secteur de la chaleur, ou encore la production de gaz et de carburants synthétiques («Power-to-Gas», «Power-to-Liquid») destinés aux secteurs des transports, de la

chaleur ou de l'industrie. Le couplage apporte une flexibilité supplémentaire dans l'ensemble du système. Cette approche contribue en outre à garantir la sécurité de l'approvisionnement. Le couplage des secteurs comporte différents aspects qui se retrouvent dans l'ensemble des priorités thématiques.

Stockage de l'énergie

Le stockage de l'énergie a pour but de flexibiliser le système énergétique ([voir p. 22](#)). Il peut faire intervenir différentes technologies d'accumulateurs: des accumulateurs chimiques, mécaniques, électriques ou thermiques. Selon l'environnement concerné, il est possible d'utiliser, par exemple, des accumulateurs, des ultracondensateurs, des hydrocarbures, de l'hydrogène, des barrages, de la biomasse, des volants d'inertie, des ressorts, de l'air comprimé, le sous-sol, des adsorbants ou des bobines supraconductrices. La recherche dans le domaine des technologies de stockage, y compris leur exploitation à des fins de flexibilisation de l'ensemble du système, est traitée en particulier dans la partie [«Systèmes énergétiques»](#). Des questions spécifiques relatives à l'intégration des solutions de stockage dans les différents secteurs de consommation sont abordées dans les chapitres [«Mobilité»](#), [«Travail et habitat»](#) et [«Processus industriels»](#). Les mesures réglementaires, les mesures politiques en vue d'une intégration optimale dans le système énergétique, les obstacles du point de vue des investisseurs et d'autres questions de recherche similaires sont traités dans la partie [«Économie, société et mesures politiques»](#).

Chaleur/froid

La fourniture de chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire dans les bâtiments et chaleur industrielle) correspond aujourd'hui à 50% de la consommation énergétique en Suisse, et cause plus de 35% des émissions de GES²⁵. Pour atteindre l'objectif de zéro net, il est nécessaire de couvrir la totalité des besoins en chaleur avec des énergies renouvelables et sans émettre de gaz à effet de serre d'ici à 2050. En outre, la planification et les pratiques de construction futures doivent être systématiquement orientées vers des méthodes de construction à faibles émissions de GES. La production et la distribution de

chaleur sont des éléments de l'offre du système énergétique et impliquent différents combustibles et technologies (voir priorité «[Systèmes énergétiques](#)»). On distingue ici la chaleur haute température et la chaleur basse température, chacune étant destinée à des applications spécifiques.

L'utilisation de chaleur et de froid est abordée en particulier dans les priorités «Travail et habitat» et «Processus industriels». Dans les immeubles d'habitation, la chaleur est utilisée avant tout dans le cadre du chauffage des locaux et de la production d'eau chaude sanitaire, tandis que dans les processus industriels, elle intervient essentiellement en tant que chaleur industrielle et vapeur. Utiliser efficacement la chaleur permet de contribuer à réduire les besoins énergétiques et à faire baisser les coûts dans le système. Il s'agit également d'optimiser la fourniture de chaleur en fonction du moment et du lieu, et de mettre au point un système flexible capable de réagir aux fluctuations de la demande en énergie.

Des conditions-cadres réglementaires et des mesures politiques sont nécessaires pour permettre une utilisation de la chaleur qui soit plus efficace et conforme aux objectifs climatiques de la Suisse (voir priorité thématique «[Économie, société et mesures politiques](#)»).

Captage, utilisation et séquestration de CO₂ (CCUS) et technologies à émissions négatives (NET²⁶)

Selon la technologie et le domaine concernés, le CCUS et les NET peuvent relever de différentes priorités:

- [Économie, société et mesures politiques](#): questions légales et mesures réglementaires, fonctionnement des marchés, préférences des acteurs, etc.;
- [Systèmes énergétiques](#): répartition et stockage du CO₂ et de ses produits dérivés, production d'énergie pour le captage, le transport et le stockage du CO₂, etc.;
- [Travail et habitat](#): utilisation de produits CCU tels que l'apport de charbon végétal dans les matériaux de construction, altération accélérée du ciment, etc.;
- [Mobilité](#): utilisation de carburants synthétiques;
- [Processus industriels](#): procédés améliorés pour le captage et l'utilisation du CO₂, y

Digression: CO₂ et GES

Outre les émissions de CO₂ résultant de l'utilisation d'agents énergétiques fossiles et les émissions directes de CO₂ issues des processus industriels (voir priorité) et de l'incinération des déchets, il existe d'autres gaz néfastes pour le climat. Ceux-ci sont répertoriés dans l'inventaire des gaz à effet de serre²⁷ de la Suisse. Il s'agit du méthane (CH₄), du protoxyde d'azote (N₂O) et des gaz synthétiques provenant de différentes sources. Dans le domaine de l'énergie, le principal gaz à effet de serre (GES) est le CO₂, et c'est aussi lui qui a les effets les plus dévastateurs sur le climat en raison de ses quantités importantes. Concernant la réduction des émissions de GES, le présent plan directeur donne donc la priorité à la diminution des émissions de CO₂. Lorsque d'autres GES sont mentionnés, leur quantité est généralement exprimée en équivalents CO₂.

compris la technologie du captage du CO₂ présent dans l'air et de son stockage (DACSC), le captage directement à la source, par exemple dans les cimenteries, et la transformation plus efficace du CO₂, etc.

Par ailleurs, le CO₂ et ses produits dérivés peuvent participer au couplage des secteurs en tant qu'agents énergétiques chimiques.

Sciences humaines et sociales (SHS)

Les questions de recherche relevant des sciences humaines et sociales sont traitées dans la priorité «Économie, société et mesures politiques».

Non seulement la recherche énergétique axée sur les sciences humaines et sociales traite les problématiques propres à ce domaine, mais elle contribue également au développement et à la mise en œuvre de nouvelles technologies. Les progrès techniques et les avancées sociales vont de pair et sont indissociables. Les solutions techniques concourent davantage à une utilisation durable de l'énergie lorsque leur développement intègre de manière adéquate le contexte social, économique et politique. Dans le présent plan directeur, les aspects socio-économiques sont donc traités directement dans les priorités techniques lorsqu'ils découlent de la technologie ou revêtent une importance majeure en la matière.

25 – Stratégie chaleur 2050 de l'OFEN: <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/74923.pdf>

26 – Définitions voir p. 8, [Technologies à émissions négatives](#)

27 – <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/etat/donnees/inventaire-gaz-effet-serre.html>

ÉCONOMIE, SOCIÉTÉ ET MESURES POLITIQUES

La transition vers un système énergétique sûr, efficient et renouvelable compatible avec l'objectif de zéro net requiert des comportements, des marchés, des mesures politiques et des institutions visant à promouvoir activement l'efficacité énergétique et le passage aux énergies renouvelables, qui bénéficient d'une vaste acceptation et qui contribuent au bien-être individuel. Les travaux de recherche axés sur l'économie, la société et les mesures politiques fournissent les solides connaissances qui sont nécessaires à la compréhension et à l'organisation de ces marchés, mesures politiques et institutions.

La Stratégie énergétique 2050 prévoit une sortie progressive du nucléaire combinée au respect des objectifs climatiques et au maintien du haut niveau de sécurité d'approvisionnement en Suisse. Ce changement nécessite d'améliorer l'efficacité énergétique et d'accroître la production d'énergie d'origine renouvelable et, plus généralement, la transformation du système énergétique suisse, afin qu'il soit compatible avec l'objectif de zéro net. Une telle transformation comprend la gestion efficiente de la convergence croissante des secteurs énergétiques ainsi que l'intégration de nouveaux vecteurs énergétiques, comme l'hydrogène, et de nouvelles technologies telles que NET et CCUS. Le développement de nouvelles technologies aura de l'importance dans la réalisation de ces objectifs (pour plus de détails, veuillez consulter les autres chapitres de ce document). Toutefois, le progrès technologique seul ne suffira pas. Des investissements privés majeurs et de profonds changements dans le mode de consommation d'énergie sont également nécessaires. Ils requièrent une modification des comportements, de nouvelles incitations et, éventuellement, des adaptations au niveau de la gouvernance et des structures politiques. Cette transformation du système énergétique doit être réalisée de façon à bénéficier d'une vaste acceptation par la population et à assurer une qualité de vie et un bien-être individuel élevés.

La recherche énergétique axée sur les sciences humaines et sociales (SHS) vise principalement à mieux comprendre le comportement des différents acteurs, leur réaction face aux mesures politiques et le fonctionnement des marchés et du système sociotechnique. Le potentiel et les coûts relatifs des différentes mesures peuvent être évalués sur cette base et leur conception peut être optimisée. Cette recherche fournit en outre une vision globale de la transformation du système énergétique et une meilleure compréhension des interconnexions et des interactions entre les mesures et les processus. Les analyses systémiques soutiennent cette transformation du système énergétique suisse en donnant des renseignements détaillés sur l'évolution de la production et de l'utilisation de l'énergie, sur son lien avec les changements des comportements individuels, les développements sociétaux et économiques ainsi que sur son impact environnemental.

La transformation du système énergétique nécessite une modification des comportements des acteurs en matière d'investissement et d'utilisation de l'énergie ainsi que des mesures politiques, des structures du marché et des institutions qui permettent cette mutation. Il convient d'élaborer des instruments politiques et réglementaires et de créer des conditions-cadres favorisant cette transformation. La recherche en SHS y contribue principalement en fournissant les connaissances requises. Pour ce faire, des tra-

vaux de recherche sont nécessaires, notamment dans les domaines «Demande d'énergie», «Offre d'énergie, réseaux et stockage», «Marchés de l'énergie et évaluations à l'échelle du système» et «Transition énergétique dans un contexte plus large». En plus de leurs propres questions de recherche, les SSH soutiennent le développement et la mise en œuvre de nouvelles technologies.

PRIORITÉS

Demande d'énergie: ménages, entreprises et organismes publics

Pour mettre en œuvre avec succès la stratégie énergétique et la transformation vers un système énergétique compatible avec l'objectif de zéro net, les ménages, les entreprises et les organismes publics doivent modifier leurs habitudes de consommation et leur comportement en matière d'investissement dans le domaine de l'énergie. La première priorité de la recherche est axée sur l'analyse des facteurs qui déterminent la demande d'énergie, y compris les moteurs des progrès dans les domaines de l'efficacité et de la sobriété énergétiques ainsi que les obstacles en la matière, de même que le développement de leviers et de mesures politiques pour réduire ou réorienter la demande. Plus spécifiquement, la recherche devrait améliorer la compréhension et la modélisation du comportement des différents acteurs grâce à des approches tirées de la psychologie, des sciences sociales, de la microéconomie et des études de terrain et formuler des recommandations d'action. L'objectif est de mieux comprendre les motivations des différents acteurs et les effets d'instruments spécifiques de politique énergétique.

L'objectif de l'abandon progressif du nucléaire et le passage à un système énergétique reposant sur les énergies renouvelables va de pair avec une électrification accrue des transports et des systèmes de chauffage et requiert une baisse et une flexibilisation de la demande d'énergie. Dans ce contexte, l'analyse des facteurs psychologiques, économiques et sociaux qui déterminent cette demande ainsi que l'étude des comportements en matière d'énergie dans tous les

secteurs, des processus individuels de décision, des processus dynamiques de groupe et les stratégies des entreprises constitue un élément essentiel de la recherche. Ces analyses et études facilitent l'élaboration de mesures contribuant à réduire la consommation d'énergie ainsi qu'à augmenter et à exploiter la flexibilité de la demande. Au niveau des ménages, des travaux de recherche supplémentaires sont par exemple nécessaires sur les interactions entre les facteurs déterminants socio-économiques et les principaux facteurs émotionnels, normatifs et cognitifs qui influencent la consommation individuelle d'énergie. Des mesures politiques susceptibles de faire reculer durablement la demande d'énergie pourraient ainsi être définies.

Les entreprises et les organismes publics sont, quant à eux, des acteurs importants de la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050: leurs stratégies ont des effets sur le comportement des consommatrices et des consommateurs et sont influencées par celui-ci; par ailleurs, leur propre consommation et leurs décisions en matière d'investissement ont une influence significative sur la demande d'énergie (y compris l'énergie grise) et sur le développement de nouvelles infrastructures. La recherche dans ce domaine doit porter sur les mesures d'adaptation propres aux entreprises et aux organismes publics et sur la mise en place de conditions-cadres favorisant l'innovation (par exemple la numérisation) et les changements technologiques en vue d'une meilleure efficacité énergétique et d'un recours accru aux énergies renouvelables.

De manière générale, la Stratégie énergétique 2050 implique des investissements dans l'efficacité énergétique. Un facteur de réussite déterminant consiste à identifier les obstacles et à formuler des recommandations permettant de définir des conditions-cadres propres à encourager les investissements de ce type. La finance durable sera l'un des leviers intéressants dans ce contexte. Limiter les effets de rebond est aussi une condition clé pour réduire la demande en matière d'énergie, en particulier dans le domaine de la mobilité (voir également le chapitre «[Mobilité](#)») et pour pro-

mouvoir l'économie circulaire afin de préserver les ressources matérielles et d'éviter les émissions. Pour terminer, cette priorité de la recherche porte aussi sur l'amélioration de la modélisation de la demande d'énergie en tenant compte des comportements individuels et des interactions sociales.

Offre d'énergie, réseaux et stockage: ménages, entreprises, organismes publics et entreprises du secteur de l'énergie

Une transition énergétique vers un approvisionnement suffisant, diversifié, sûr, économiquement optimal et respectueux de l'environnement basé sur les énergies renouvelables exige des investissements significatifs dans l'infrastructure énergétique à différents niveaux du système. L'analyse de la prise de décision concernant l'approvisionnement en énergie est donc au centre de la deuxième priorité de la recherche. Elle porte, d'une part, sur les facteurs déterminants de la prise de décision dans les ménages, les entreprises, les organismes publics et les entreprises du secteur de l'énergie. D'autre part, elle vise à mieux comprendre les politiques et leviers existants et à en développer de nouveaux pour augmenter et réorienter de manière efficiente l'offre d'énergie renouvelable et permettre son stockage et son transport, ainsi que la priorisation de l'usage de ces ressources (la bonne énergie pour le bon usage au bon endroit).

Une transition réussie dépend du développement d'instruments et de politiques permettant d'intégrer de manière efficiente les énergies renouvelables dans le système énergétique suisse, mais aussi de politiques pour abandonner efficacement les énergies fossiles et le nucléaire, en tenant compte du risque d'actifs échoués. Les réglementations visant à tirer parti de la flexibilité de l'offre et du couplage des secteurs pour atteindre cet objectif méritent une attention particulière. Dans ce contexte, le développement de la régulation des réseaux électriques pour créer des incitations à leur extension efficiente et à l'intégration du stockage sera essentiel.

L'analyse des obstacles aux investissements dans l'infrastructure énergétique (y compris les réseaux et le stockage) du point de vue

des investisseurs et de l'optimisation des portefeuilles ainsi que le développement de stratégies pour rendre ces investissements plus attractifs est une autre priorité importante de la recherche. Le rôle de la finance durable et des nouveaux modèles d'affaires dans l'élimination de ces obstacles mérite que l'on s'y arrête. Il en va de même de la promotion des investissements et de l'intégration de solutions novatrices comme les carburants et combustibles renouvelables et les technologies CCUS ou NET. De manière générale, le rôle et la promotion de l'innovation, en particulier de la numérisation et des approches communautaires dans l'approvisionnement en énergie, sont importants pour le succès de la transition énergétique.

Marchés de l'énergie (aspects nationaux et internationaux) et évaluations à l'échelle du système

Dans ce champ prioritaire, les principaux domaines de recherche doivent permettre de comprendre et d'améliorer le fonctionnement et la régulation des marchés de l'énergie, mais aussi d'évaluer les mesures politiques et réglementaires à l'échelle du système.

Les marchés de l'énergie coordonnent les décisions d'investissement et d'utilisation des acteurs d'un système énergétique. Ils sont donc d'une importance capitale pour la réussite d'une stratégie énergétique et la mise en place d'un système énergétique sûr et résilient. En raison des nouveaux développements technologiques qui facilitent une intégration étroite de différents secteurs et vecteurs d'énergie, de la décentralisation du système énergétique, de l'intégration d'énergies renouvelables intermittentes à large échelle, de l'apparition possible de nouveaux vecteurs d'énergie à l'avenir comme les carburants et combustibles synthétiques et de la compatibilité requise avec l'objectif de zéro net, les futurs marchés de l'énergie ainsi que leur réglementation sous-jacente doivent relever de nombreux défis. Par conséquent, une stratégie énergétique réussie nécessite des recherches sur la conception des marchés et la réglementation, tant pour les marchés de l'énergie existants que pour ceux à venir. Par exemple, le développement et l'analyse de modèles de marché efficients qui per-

mettent d'investir dans les énergies renouvelables et de les intégrer au système énergétique pour compenser l'abandon des énergies fossiles et nucléaire revêtent une grande importance. La recherche doit développer des solutions adéquates pour l'intégration d'une part importante d'énergies renouvelables intermittentes et pour une transition réussie vers un système énergétique plus décentralisé. Cela implique de nouvelles approches pour assurer la sécurité de l'approvisionnement et pour coordonner les décisions des acteurs (par exemple services publics, prosummateurs, communautés d'autoconsommation, opérateurs de réseaux) au sein du système. Dans ce contexte, les opportunités créées par la numérisation, y compris l'industrie 4.0, sont également intéressantes.

La transition vers une énergie verte s'accompagne d'une convergence croissante entre les différents systèmes d'approvisionnement en énergie. Afin d'exploiter au mieux les opportunités découlant de cette convergence en termes d'efficacité, de résilience, d'équité sociale et de durabilité, le processus lui-même et les implications des politiques énergétiques et des mesures réglementaires au niveau du système énergétique doivent être mieux compris et optimisés. En outre, une bonne coordination des politiques énergétiques, notamment aux niveaux fédéral, cantonal et communal, est essentielle. La conception de politiques publiques systémiques en matière d'énergie (y compris les incitations et les lois) devrait tenir compte des comportements et refléter la nécessité d'intégrer la perspective individuelle dans la perspective systémique, au lieu de les considérer séparément.

Par ailleurs, le développement de politiques, réglementations et conceptions de marché appropriées doit prendre en considération les aspects légaux et internationaux. Les politiques internationales en matière de climat et d'énergie ainsi que les réglementations et conceptions internationales des marchés exercent une influence majeure sur les marchés de l'énergie en Suisse. L'analyse de cette influence, ainsi que des interactions entre les mesures politiques nationales et internationales, est un domaine de recherche impor-

tant, tout comme le positionnement de la Suisse sur les marchés internationaux. Cette dimension internationale est, par exemple, hautement pertinente pour les entreprises et les industries consommant de grandes quantités d'énergie et qui participent aux chaînes de création de valeur internationales, puisqu'elle a un impact sur la sécurité de la chaîne d'approvisionnement et la compétitivité.

La transition énergétique dans un contexte plus large

Pour pouvoir mettre en place les conditions-cadres d'une stratégie énergétique réussie, il faut mieux comprendre le processus lui-même et les implications des politiques énergétiques et des mesures réglementaires sur le système énergétique, l'économie et la société suisses. Il en va de même pour l'impact des développements au-delà de la politique énergétique sur la transition énergétique et vice versa. Il s'agit de l'objectif du quatrième domaine prioritaire. Dans ce contexte, l'analyse des mesures et instruments de politique énergétique, par exemple à l'aide d'outils macroéconomiques, de la future offre et demande d'énergie, ainsi que des conditions-cadres grâce à des scénarios, des modèles énergétiques et d'autres méthodes, restent un domaine de recherche important. Une compréhension plus profonde de l'impact de la transition énergétique, et notamment des différentes options politiques et conceptions du marché de l'énergie sur la croissance économique, le marché du travail, la consommation et la compétitivité de l'industrie suisse est une condition préalable à une transition réussie. Pour ce faire, il faut continuer à améliorer les outils et les méthodes appropriés pour l'élaboration de scénarios et la simulation de différentes options de politique énergétique et de leurs implications pour l'ensemble de l'économie, ainsi que poursuivre le développement et l'amélioration des modèles et des scénarios qui décrivent les évolutions futures possibles et mettent en évidence les principaux facteurs socioéconomiques qui déterminent la stratégie énergétique. Les scénarios technico-économiques sont également intéressants, mais ils sont abordés dans le chapitre sur les [systèmes énergétiques](#). Un objectif important est d'améliorer la prise en

compte de l'incertitude et la représentation des aspects contextuels, comportementaux et sociétaux dans les modèles et les scénarios, afin de tenir compte de la faisabilité sociopolitique de ces scénarios.

La stratégie énergétique est une stratégie sociétale et technologique. La transition énergétique devrait être largement acceptée et favoriser le bien-être individuel. La recherche sur la justice énergétique et l'impact distributif de la transition énergétique elle-même et des mesures mises en œuvre pour faciliter la transition est donc intéressante. Il s'agit notamment de stratégies visant à concevoir une transition inclusive et à éviter la pauvreté énergétique et les réductions de la qualité de vie. En outre, il convient d'étudier les préférences sociétales et individuelles en matière de conception des politiques énergétiques et de mettre au point des conceptions reflétant ces préférences. La transition énergétique s'accompagnant d'une certaine décentralisation du système énergétique, basée sur les énergies renouvelables et une plus grande appropriation de l'énergie au niveau local, le développement de stratégies visant à encourager une citoyenneté énergétique active et la participation des citoyennes et des citoyens est un facteur de réussite important. Il en va de même pour l'engagement des entreprises en tant que des parties prenantes.

Les politiques, les réglementations et les facteurs sociaux extérieurs au domaine de l'énergie peuvent entraver ou soutenir de manière significative la transition énergétique. Il convient de mieux comprendre les conditions-cadres politiques, économiques et sociales des scénarios et l'interaction des différentes mesures politiques dans les combinaisons de politiques (politiques de différents domaines, politiques actuelles et nouvelles, etc.). Par exemple, les dynamiques sociétales et technologiques telles que la numérisation et l'intelligence artificielle influencent la stratégie énergétique à différents niveaux et avec différents effets. Cette interaction complexe et dynamique des facteurs qui déterminent la stratégie énergétique doit faire l'objet d'une analyse plus approfondie. Dans le contexte de la transition énergétique et de la nécessité de mettre en place de nouvelles infrastructures de production, de transport et de stockage des énergies renouvelables, il est essentiel de trouver des solutions pour résoudre et/ou atténuer les conflits d'intérêts en matière d'aménagement du territoire et de législation sur l'environnement et l'énergie. Les options et les limites concernant l'accélération des procédures de planification et d'approbation doivent être analysées, de même que les dimensions éthiques des conflits d'intérêts susceptibles d'apparaître entre l'approvisionnement en énergie, la protection de l'environnement, l'agriculture et d'autres options d'utilisation des terres. Enfin, les évaluations holistiques de l'impact de la réglementation du marché de l'énergie et des politiques énergétiques constituent un domaine de recherche important.

SUJETS DE RECHERCHE PRIORITAIRES 2025–2028

Demande d'énergie: ménages, entreprises et organismes publics

Analyse et modélisation des facteurs déterminants de la demande d'énergie

- Prise de décision concernant la consommation d'énergie, y compris les facteurs individuels (affectifs, normatifs et cognitifs) et structurels (facteurs sociaux/sociétaux, culturels, économiques, technologiques et géographiques), les tendances à long terme et les modes de vie;
- Investissements dans l'efficacité énergétique et la flexibilité de la consommation, y compris moteurs, obstacles et réponse à l'innovation.

Leviers et politiques visant à réduire et réorienter de manière efficiente la demande d'énergie: développement de nouveaux instruments et analyse des instruments existants

- Inciter la prise de décision en matière de consommation d'énergie, notamment en réduisant et en déplaçant la demande d'énergie, en améliorant l'efficacité énergétique, en encourageant les modes de vie et la conception de produits à faible consommation d'énergie et en limitant les effets de rebond;
- Surmonter les obstacles à l'investissement dans l'efficacité énergétique ainsi que dans la flexibilité de la demande et l'innovation, y compris le financement durable.

Offre d'énergie, réseaux et stockage: ménages, entreprises, organismes publics et entreprises du secteur de l'énergie

Analyse et modélisation des facteurs déterminants de l'offre d'énergie

- Prise de décision concernant l'approvisionnement en énergie;
- Investissements dans l'infrastructure énergétique et la flexibilité de l'approvisionnement, y compris moteurs, obstacles et réponse à l'innovation.

Leviers et politiques pour accroître et réorienter de manière efficiente l'offre d'énergies renouvelables (y compris infrastructure, stockage, flexibilité, hydrogène, carburants et combustibles synthétiques): développement de nouveaux instruments et analyse des instruments existants

- Inciter la prise de décision concernant l'approvisionnement en énergie, en particulier l'intégration des énergies renouvelables et des nouvelles technologies, ainsi que la régulation des réseaux;
- Surmonter les obstacles à l'investissement dans l'infrastructure d'approvisionnement en énergie, dans la flexibilité de l'approvisionnement et encourager l'adoption d'innovations, y compris le financement durable.

Marchés de l'énergie (aspects nationaux et internationaux) et évaluations à l'échelle du système

Organisation du marché (y compris intégration de l'approvisionnement décentralisé et du stockage, traitement de l'intermittence, carburants et combustibles synthétiques): analyse, modélisation et conception du marché

- Capacité des marchés de l'énergie à intégrer de manière efficiente les nouveaux approvisionnements, les nouvelles demandes (par exemple la mobilité électrique), les nouveaux vecteurs énergétiques (par exemple les carburants et combustibles synthétiques) et les nouvelles technologies (par exemple la numérisation) et à coordonner les différents acteurs, tout en garantissant la sécurité de l'approvisionnement et la stabilité du réseau;
- Composants socioéconomiques de la capacité des marchés de l'énergie à faire face aux chocs (par exemple les interruptions de l'approvisionnement).

Leviers et politiques visant à améliorer l'organisation du marché: développement de nouveaux instruments et analyse des instruments existants

- Nouveaux modèles d'affaires et conceptions de marché (par exemple responsabilité de la stabilité du système, marchés locaux de l'énergie) favorisant la transi-

tion vers l'objectif de zéro net et une consommation réduite de matériaux (économie circulaire, exploitation des mines urbaines), tout en garantissant la sécurité de l'approvisionnement et la résilience du système énergétique; conception efficiente de nouveaux marchés de l'énergie; y compris défis juridiques, économiques et sociétaux.;

- Évaluer l'influence et l'interaction de la politique énergétique étrangère et de la politique climatique internationale avec les instruments et mesures suisses; positionner la Suisse sur les marchés internationaux de l'énergie et évaluer la conformité de la politique suisse avec le droit international et en particulier le droit européen.

Évaluations à l'échelle du système

- Évaluer les politiques énergétiques à l'échelle du système et élaborer des politiques pour exploiter au mieux la convergence des secteurs dans le système énergétique, en améliorant la coordination des politiques énergétiques.

La transition énergétique dans un contexte plus large

La transition énergétique et l'économie suisse

- Comprendre les impacts de la transition énergétique et plus particulièrement des différentes options politiques et conceptions du marché sur l'économie suisse, le marché du travail, la compétitivité de l'industrie et des PME suisses, ainsi que l'environnement; amélioration des outils et méthodes appropriés;
- Dans le contexte de la stratégie énergétique, comprendre la complexité et l'interdépendance des différents secteurs, y compris les interactions entre les changements technologiques, sociétaux, politiques et individuels; analyser les interactions entre les différentes stratégies telles que l'efficacité, la sobriété, l'économie de partage, l'économie circulaire, la numérisation, etc.

La transition énergétique et la société suisse

- Comprendre l'impact des scénarios de transition énergétique et des politiques énergétiques sur la justice énergétique, identifier des stratégies pour éviter ou atténuer la pauvreté liée à l'énergie et les réductions de la qualité de vie, évaluer la faisabilité sociopolitique de ces scénarios et politiques en général;
- Enrichir les scénarios énergétiques de nouveaux scénarios axés sur les acteurs clés et la société dans son ensemble, par exemple les comportements et les modes de vie, l'utilisation des sols, l'emploi, le logement, la numérisation, les achats, les activités de loisirs, la mobilité, etc.;
- Comprendre et analyser les interactions sociales dans différents contextes institutionnels, y compris l'apprentissage

social et les innovations sociales, la citoyenneté énergétique, les mouvements de consommatrices et de consommateurs, les communautés de base, les processus de participation des citoyennes et des citoyens, l'acceptation et la résistance aux nouvelles technologies et politiques.

Transition énergétique et développement politiques/sociétaux dans d'autres domaines

- Évaluer les conséquences des interactions politiques (différents domaines, politiques étrangères et nationales, anciennes et nouvelles) et développer des approches et des processus pour gérer de telles interactions;
- Développer des options pour résoudre et/ou atténuer les conflits d'intérêts dans la planification du territoire, la législation environnementale et énergétique; analyser l'interaction des réglementations aux niveaux fédéral, cantonal et communal ainsi que les options et les limites en matière d'accélération des procédures de planification et d'approbation;
- Comprendre et analyser les interdépendances au niveau du territoire, y compris les interactions entre niche, région et paysage ainsi que les processus internationaux, nationaux, cantonaux et locaux de prise de décision et de mise en œuvre dans des contextes multiniveaux;
- Leviers et politiques pour promouvoir le déploiement des CCUS et des NET;
- Étudier les liens entre le système énergétique et les incidences environnementales de la consommation de la société, y compris les différences entre la comptabilisation des émissions basée sur la production et celle basée sur la consommation.

SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

«Les systèmes énergétiques de demain reposeront sur la combinaison intelligente de différentes technologies et fluides intersectoriels. Ils permettront de garantir un approvisionnement énergétique sûr, durable et abordable qui sera en adéquation avec les objectifs énergétiques et climatiques.»

Introduction

Un système énergétique comprend l'ensemble des installations de transformation et de distribution ou de stockage de l'énergie sous différentes formes. Selon le contexte, il peut être organisé de manière centralisée, décentralisée, ou mixte. Cette partie du plan directeur porte sur la production d'énergie. La consommation, autrement dit l'utilisation de l'énergie produite, concerne différents secteurs qui sont traités dans d'autres parties du plan directeur («Travail et habitat», «Mobilité» et «Processus industriels»).

Les objectifs de la politique énergétique sont inévitablement liés à ceux de la politique climatique, notamment car près des trois quarts des émissions de gaz à effet de serre de la Suisse résultent de l'utilisation d'agents énergétiques fossiles. L'objectif de zéro net d'ici à 2050, comme référence car approuvé par le souverain en 2019, et [la Stratégie climatique](#) à long terme adoptée en 2021 et qui doit permettre d'atteindre cet objectif imposent une restructuration profonde du système énergétique actuel. Parallèlement, la sécurité de l'approvisionnement, essentielle au bon fonctionnement de l'économie et de la société, doit continuer à être garantie. La diversification des agents énergétiques joue un rôle majeur. Il est également essentiel d'utiliser de manière durable les ressources locales disponibles et d'être bien intégré dans

le système énergétique européen. Le renforcement du savoir-faire local revêt, lui aussi, une importance capitale, tant au niveau de la recherche que de la mise en œuvre.

La transformation durable du système énergétique s'accompagne en partie de changements radicaux dans les habitudes et les comportements (voir priorité [«Économie, société et mesures politiques»](#)). Concernant l'utilisation de nouvelles technologies, l'enjeu ne réside pas seulement dans l'utilité de ces technologies pour le client, dans leur acceptation et dans leur durabilité, mais aussi dans le coût abordable de l'approvisionnement énergétique dans l'ensemble et dans le maintien et la création d'emplois à long terme.

De quoi avons-nous besoin pour l'avenir? Objectifs à l'horizon 2050

Les Perspectives énergétiques 2050+²⁸ montrent, sur la base de scénarios, que l'objectif de zéro net peut être atteint d'ici à 2050. Bien que l'horizon temporel soit particulièrement ambitieux, il est clairement établi que les technologies disponibles à ce jour permettront d'atteindre cet objectif. Toutefois, d'autres développements technologiques pourraient accélérer considérablement le processus de transition. Les longs cycles d'investissement en vigueur dans le système énergétique accentuent la pression à agir dans l'ensemble des secteurs, alors que la

répartition des coûts et bénéfices varient fortement selon la trajectoire de développement et le scénario concernés. L'exploitation optimale des potentiels dans les domaines de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables et la gestion intelligente et intersectorielle des flux d'énergie sont essentielles pour pouvoir réaliser une transformation du système énergétique qui soit compatible avec l'objectif de zéro net. La transformation de l'approvisionnement en énergie de la Suisse consiste à accroître l'efficacité énergétique et la part des énergies renouvelables et à réduire les émissions de CO₂ liées à l'énergie tout en maintenant la sécurité d'approvisionnement jusqu'à présent élevée et l'approvisionnement énergétique finançable dont bénéficie la Suisse. La Stratégie énergétique 2050²⁹ vise à augmenter la production annuelle d'électricité issue de la force hydraulique à 37,9 térawattheures (TWh) d'ici à 2035 et à 39,2 TWh d'ici à 2050, et celle issue des autres énergies renouvelables à 35 TWh d'ici à 2035 et à 45 TWh d'ici à 2050³⁰. Toutefois, des efforts bien plus ambitieux devront être déployés pour atteindre l'objectif de développement des énergies renouvelables (sans la force hydraulique). Le rapport quinquennal dans le cadre du monitoring de la Stratégie énergétique 2050³¹ montrait, en 2022, que la part de la production d'électricité d'origine renouvelable dans la production nationale avait progressé pour s'établir à 7,2%. Au total, la production d'électricité renouvelable s'est établie à 4,7 TWh en 2020. Sans nouvelles mesures telles que celles prévues dans la loi relative à un approvisionnement en électricité sûr reposant sur des énergies renouvelables, le rythme du développement des énergies renouvelables est trop lent pour permettre la réalisation à moyen et à long termes des valeurs cibles fixées.

Le couplage des secteurs sera un élément clé du futur système énergétique (voir «Couplage des secteurs et numérisation»). L'électricité jouera notamment un rôle majeur dans la production de chaleur et la mobilité. Elle peut être stockée au moyen de différentes technologies, ou être transformée, grâce aux technologies Power-to-X, en des agents énergétiques liquides ou gazeux, permettant une utilisation flexible dans le temps et l'espace.

Des conditions-cadres légales favorables (procédures d'autorisation, subsides) mais aussi une conception efficace du marché de l'énergie et, surtout, l'acceptation dans la société seront essentielles pour pouvoir accélérer le développement des énergies renouvelables. La recherche peut apporter une contribution précieuse ici, non seulement car elle permet de réaliser des avancées technologiques (par exemple amélioration de l'efficacité énergétique) et de transposer à plus grande échelle et d'éprouver de nouvelles technologies (installations pilotes et de démonstration), mais aussi car elle montre la plus-value apportée par ces technologies pour la société et propose des réponses scientifiques aux questions sur le débat de société (voir priorité «[Économie, société et mesures politiques](#)»). Il sera important, à l'avenir, de se doter d'une procédure claire qui permette d'optimiser techniquement et économiquement les solutions présentées et qui tienne compte des conditions-cadres sociétales pour pouvoir parvenir à des compromis légitimes.

28 – [Perspectives énergétiques 2050+ \(admin.ch\)](#)

29 – [Stratégie énergétique 2050 \(admin.ch\)](#)

30 – [21.047 | Approvisionnement en électricité sûr reposant sur des énergies renouvelables. Loi fédérale | Objet | Le Parlement suisse](#)

31 – OFEN (2022): [Stratégie énergétique 2050: Rapport quinquennal dans le cadre du monitoring \(Stratégie énergétique 2050 Rapport quinquennal dans le cadre du monitoring.pdf \(admin.ch\)\)](#)

PRIORITÉS

Comment atteindre les objectifs?

Réseaux énergétiques, intégration dans le système, flexibilisation

Depuis longtemps déjà, la recherche sur les systèmes énergétiques ne se concentre plus uniquement sur les technologies considérées de manière isolée pour augmenter l'efficacité de la transformation et réduire les coûts de production de l'électricité, de la chaleur ou des carburants. Elle adopte plutôt une vision systémique, les systèmes de production étant de plus en plus interconnectés et en interaction. Par ailleurs, la variabilité temporelle et locale de l'offre et de la demande sera sensiblement plus marquée à l'avenir, lorsque les sources décentralisées d'énergie renouvelable auront gagné en importance. La recherche sera donc davantage focalisée sur la mise en réseau et sur l'intégration des différentes technologies de production ainsi que sur leur interaction intelligente et au service du système. Il convient ici d'orienter le fonctionnement de l'infrastructure existante (électricité, gaz, chaleur) en fonction besoins et de l'adapter à l'utilisation future sur la base de modèles et de scénarios. La stabilité et la résilience du système sont des sujets de recherche importants. Ces deux caractéristiques sont en effet des conditions essentielles au bon fonctionnement des nombreux composants du système sur lesquels l'intégration de sources d'énergie fluctuantes a un impact négatif. L'approche systémique ne doit pas se limiter ici à la planification et au fonctionnement du système électrique et gazier, une importance équivalente devant être accordée aux réseaux thermiques, aux défis qui leur seront associés à l'avenir, par exemple pour la conception de systèmes de chauffage/de refroidissement à distance, et à leur intégration. Afin que les options de flexibilité (couplage des secteurs, gestion du stockage, gestion de la demande) offertes par les nombreux composants d'un système puissent être exploitées, une structure de marché durable et orientée vers l'avenir à tous les égards, tenant compte de la régulation ainsi

que de la configuration des mesures politiques (voir priorité [«Économie, société et mesures politiques»](#)), est nécessaire. En plus de considérer le système dans son ensemble, il convient toutefois aussi de poursuivre le développement de chaque technologie. La recherche se concentre ici sur l'accroissement de l'efficacité, ainsi que sur l'optimisation et la flexibilisation de l'exploitation des installations.

Couplage des secteurs et numérisation

Interconnecter et faire interagir intelligemment différents systèmes d'approvisionnement en énergie (couplage des secteurs) accroît la flexibilité de l'offre, de la demande et du stockage, et rendra possible l'exploitation de synergies. La plupart des technologies requises sont déjà disponibles (couplage chaleur-force, Power-to-X), mais des obstacles d'ordre organisationnel (par exemple les entreprises d'approvisionnement en énergie ne possèdent souvent pas les infrastructures pour plusieurs agents énergétiques) ou réglementaire (par exemple conditions-cadres dans le domaine de l'aménagement du territoire) rendent souvent difficiles leur utilisation et l'exploitation des avantages associés pour les systèmes globaux.

Les domaines de la chaleur et de la mobilité sont prédestinés au couplage des secteurs, notamment car l'électricité d'origine renouvelable peut être utilisée directement. Dans les domaines qui ne se prêtent pas à une utilisation directe, l'hydrogène et ses produits dérivés (par exemple le méthane synthétique) peuvent, en tant qu'agents énergétiques flexibles et stockables, constituer un élément central du couplage des secteurs. Chaque étape de la transformation implique toutefois des pertes, ce qui occasionne des coûts supplémentaires, et une utilisation directe de l'électricité s'avère donc plus judicieuse. Les Perspectives énergétiques 2050+ montrent que les agents énergétiques basés sur l'électricité (combustibles et carburants synthétiques liquides ou gazeux, hydrogène) sont nécessaires pour atteindre l'objectif de zéro net, mais, pour des raisons d'efficacité énergétique et d'efficacité des coûts, ils doivent

être utilisés uniquement dans les domaines dans lesquels il existe peu d'alternatives (par exemple le transport aérien international).

La décentralisation croissante et la multiplicité des acteurs s'accompagnent d'une augmentation de la complexité du système énergétique et, avec elle, des exigences de pilotage et de réglage de ce dernier. Outre ces aspects techniques, les aspects en lien avec l'aménagement du territoire jouent aussi un rôle important pour faire face à la complexité et exploiter au mieux les potentiels énergétiques locaux/régionaux. En tant que technologie pionnière, la numérisation, qui comprend l'intégration de technologies d'information et de communication, des quantités de données colossales et complexes, ainsi que l'intelligence artificielle, interviendra, elle aussi, de manière importante dans le développement du système énergétique. Il s'agit ici de mettre en adéquation la structure politique et les évolutions techniques, en tenant compte de la sécurité de l'approvisionnement, du caractère abordable et durable de ce dernier, de la protection des données et de la justice sociale (ce dernier élément est abordé en particulier dans la priorité «Économie, société et mesures politiques») comme des enjeux centraux³².

Stockage

La thématique de la flexibilité est indissociable de celle du stockage. Il s'agit ici de mettre l'accent non seulement sur le développement de différentes technologies de stockage, mais aussi sur l'utilisation de celles-ci dans tout le système. La production et le stockage de plus en plus diversifiés et variables de l'énergie sont synonymes de chances et de défis pour la planification, l'exploitation, la flexibilité et les services supplémentaires. Tandis que les fluctuations à court terme de l'offre et de la demande peuvent être appréhendées grâce à des accumulateurs à court terme et à une gestion de la demande, les fluctuations saisonnières sont plus complexes et requièrent des solutions solides par le biais du stockage saisonnier et du couplage des secteurs. Les sites industriels nécessitent notamment des technologies effi-

caces pour la récupération, la transformation, le stockage et l'échange d'énergie chimique, thermique et électrique (voir chapitre [«Processus industriels»](#)).

Transport, stockage et utilisation du CO₂ (CC(U)S)

Les technologies de captage du CO₂ et leur fonctionnement dans un environnement d'installations sont présentés dans le chapitre [«Processus industriels»](#). La production d'énergie destinée au processus global, l'utilisation du CO₂ pour fabriquer d'autres produits et le transport par conduites prévu à l'avenir sont abordés dans le présent chapitre.

Le CO₂ capté peut être utilisé de différentes manières. En fonction de la durée de vie des produits qui en sont issus, il est stocké de manière temporaire ou permanente: l'utilisation du CO₂ pour produire des carburants synthétiques peut être considérée comme un moyen de stockage temporaire et à court terme, tandis que le stockage dans des matériaux de construction de bâtiments s'inscrit sur une plus longue durée (les matériaux de construction biogènes piègent le CO₂ durant quelques décennies, le béton carbonaté de manière durable). À l'avenir, les carburants produits à partir du CO₂ joueront un rôle majeur dans le secteur énergétique car ils offriront une possibilité de stockage chimique de l'énergie et soutiendront la flexibilité de la production d'électricité³³. Par ailleurs, ce secteur soulève des questions d'ordres réglementaire et sociétal qui sont importantes pour la politique énergétique et sont abordées dans la priorité [«Économie, société et mesures politiques»](#).

Énergies renouvelables: des technologies qui offrent de la flexibilité et rendent possible l'intégration dans les systèmes énergétiques

Les énergies renouvelables sont une composante importante du système énergétique suisse. En 2021, leur part dans la production d'électricité indigène s'est établie à 67%³⁴. La force hydraulique a fourni la contribution la plus importante, tandis que l'énergie solaire, la biomasse, le biogaz, l'éolien et l'incinéra-

tion des déchets ont couvert près de 8,3% de la production totale d'électricité de la Suisse. La part des énergies renouvelables dans la production de chaleur s'est établie autour de 25%. De manière générale, on constate au cours des dernières décennies une augmentation sensible de la production d'électricité et de chaleur renouvelables pour l'ensemble des technologies. Outre la poursuite du développement et même l'accélération de celui-ci grâce à des conditions-cadres adaptées, des travaux de recherche sont encore nécessaires pour pouvoir utiliser ces nouvelles technologies à plus grande échelle et de manière plus durable et plus flexible et, ce faisant, pour pouvoir davantage solliciter l'infrastructure existante, et l'étendre au besoin. De nouveaux concepts de flexibilisation misent sur le stockage et une production optimisée combinant différentes technologies, comme des installations photovoltaïques sur des lacs d'accumulation. Outre la production et la fourniture de différentes formes d'énergie (électricité, chaleur, carburants et combustibles), l'interconnexion de celles-ci jouera aussi un rôle central à l'avenir.

Concernant la *force hydraulique*, une technologie désormais bien établie, l'accent doit être mis sur l'augmentation de la production annuelle et le passage à une production hivernale, sur une meilleure compréhension des effets des changements climatiques (modification des régimes d'écoulement), sur le respect des prescriptions relatives à la sécurité de fonctionnement des installations d'accumulation (par exemple augmentation de l'ensablement et conséquences sur le stockage et la production) et sur les sujets de recherche associés. Il faut prendre en compte ici l'évolution de l'environnement opérationnel: marchés volatils, contraintes environnementales plus importantes, renouvellements de concessions à venir, etc. Afin de soutenir et de rendre possible l'intégration croissante de la production d'électricité renouvelable, non pilotable ou pilotable en partie, une plus grande flexibilisation, davantage de possibilités de stockage (sur toutes les échelles de temps) et une hybridation des centrales hydroélectriques (par exemple avec le photovoltaïque) seront nécessaires.

La future recherche sur *l'énergie solaire* devra porter principalement sur l'amélioration des performances et la baisse des coûts des installations. Les produits qui devront être développés seront être conçus de manière durable, fiable, et axée sur la circularité. L'assurance de la qualité est aussi un aspect important pour accroître la durée de vie, la fiabilité ainsi que la performance des installations photovoltaïques et des installations solaires thermiques. L'intégration du photovoltaïque dans différentes applications, par exemple dans les bâtiments et les véhicules, de même que l'agri-photovoltaïsme constituent des sujets de recherche majeurs. L'intégration du photovoltaïque dans le système énergétique est un thème transversal qui touche d'autres domaines de recherche. Le fait de disposer de prévisions de production particulièrement précises jouera un rôle croissant à l'avenir pour pouvoir équilibrer les injections et les prélèvements. Dans le solaire thermique, les grands champs de capteurs solaires seront au cœur des futures applications basse température dans les immeubles d'habitation collective et les réseaux de chaleur.

La *bioénergie* possède plusieurs fonctions: production d'énergie électrique, de chaleur, de combustibles, de carburants et de substances chimiques. La grande variété des technologies de transformation qui utilisent différents déchets durables et matières premières devra être combinée à l'avenir de manière pertinente avec d'autres technologies de production (dans l'espace et dans le temps). Par ailleurs, des processus de transformation optimisés et la monétisation de la valeur ajoutée générée (services) permettront de réduire encore davantage les coûts. Dans le domaine des technologies à émissions négatives (bioénergie avec captage et stockage du carbone (BECCS) et utilisation du charbon végétal) en particulier, la biomasse pourrait apporter une contribution non négligeable.

La *géo-énergie* jouera, à l'avenir, un rôle important dans l'approvisionnement en électricité, en chaleur et en froid. Le stockage de chaleur saisonnier dans le sous-sol peut également participer à la transformation efficace

et à la stabilisation du système énergétique du futur. Pour ce faire, l'évaluation et la compréhension du sous-sol géologique, de son potentiel géothermique et des formes de raccordement possibles sont des domaines de recherche prioritaires. La recherche sur la géo-énergie se consacre également aux techniques de pointe pour la stimulation et le forage. Au-delà de ces aspects techniques, l'évaluation et la réduction des risques ainsi que la sécurité constituent des aspects particulièrement importants de la recherche dans la perspective de l'utilisation future de la géo-énergie.

Si *l'énergie éolienne* est une technologie éprouvée, des aspects spécifiques à la Suisse nécessitent néanmoins des travaux de recherche. Cela concerne notamment la conception des installations, les questions relatives à l'utilisation de turbines dans les zones forestières, les prévisions de production globalement meilleures et la réduction du bruit et du givre. Enfin, il conviendra également d'étudier la mesure dans laquelle l'énergie éolienne pourrait permettre de réduire durablement la dépendance de la Suisse vis-à-vis des importations en hiver.

Modèles et scénarios

La transformation profonde de l'approvisionnement énergétique de la Suisse s'accompagne d'une augmentation de la complexité tant au niveau de la production que de la consommation, en tenant compte du fait que la sécurité d'approvisionnement doit être garantie à tout moment. Ce tournant nécessite des technologies flexibles en mesure de transformer, de transporter, de stocker et, au besoin, de mettre à disposition le plus rapidement possible l'énergie, et ce sur des échelles de temps variées: sur une saison comme sur une seconde. Des modèles qui montrent comment réaliser les objectifs ambitieux qui ont été fixés sont nécessaires pour pouvoir représenter ces nouvelles exigences de la manière la plus réaliste et la plus détaillée possible. Les modèles sont des instruments importants pour analyser l'influence de développements technologiques, économiques et réglementaires sur le système énergétique du

futur. En faisant varier les hypothèses au sein des modèles, on obtient des scénarios qui permettent de fournir un aperçu le plus réaliste possible du futur pour les hypothèses concernées. Pour pouvoir répondre aux questions ouvertes qui émergent au sein de la politique, de l'industrie et de la société, il faut comparer ou mettre en relation plusieurs modèles et scénarios et étudier leur sensibilité sur la base de conditions choisies de manières diverses. L'objectif de la recherche est d'obtenir une image numérique du système énergétique de la Suisse qui fasse émerger des questionnements d'ordre social et sociétal, susceptibles d'influencer positivement la transformation du système énergétique. En plus de soulever des interrogations sur les mesures politiques et les évolutions sociétales (ces deux composantes sont traitées dans la priorité «Économie, société et mesures politiques»), ces travaux de recherche devraient également inclure une évaluation (benchmark) régulière du progrès technique et économique des différentes technologies et de leur impact sur l'ensemble du système (voir présent chapitre). La question de savoir comment minimiser les risques systémiques dans l'infrastructure énergétique du futur est tout aussi importante.

Énergie nucléaire et déchets radioactifs

L'énergie nucléaire continuera à contribuer de manière considérable à la production d'électricité de la Suisse dans les décennies à venir. Afin de garantir la sécurité des installations nucléaires, il est essentiel de conserver le savoir-faire dans ce domaine.

La recherche réglementaire dans le domaine de la sécurité doit notamment permettre de déterminer comment garantir une exploitation à long terme des installations, qui soit sûre et conforme à des standards élevés. Le vieillissement des matériaux et les conséquences des séismes sur les structures, systèmes et composants des installations nucléaires sont au cœur des travaux, de même que les rééquipements techniques, l'utilisation de combustibles résistant aux accidents, le fonctionnement en suivi de charge, la formation d'un personnel qualifié,

mais aussi le démantèlement futur des installations nucléaires et le conditionnement et la gestion des déchets radioactifs, notamment dans la perspective d'un dépôt en couches géologiques profondes et du stockage à long terme des éléments combustibles usés. Une exposition aux rayonnements la plus réduite possible pour la population et l'environnement revêt toujours une importance majeure.

Par ailleurs, la Suisse participera, à l'avenir également, au développement de technologies de réacteurs sûres et innovantes, afin de pouvoir continuer à évaluer les technologies développées à l'étranger et d'en tirer des conclusions pour son propre approvisionnement énergétique. Pour ce faire, il conviendra d'étudier notamment la sécurité nucléaire, la durabilité et les stratégies de réduction des déchets des nouveaux réacteurs de la génération IV et de leurs cycles du combustible. La présence de la recherche suisse au sein d'organisations internationales telles que la Communauté européenne de l'énergie atomique (EURATOM), l'agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN), et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et sa participation à des coopérations de recherche bilatérales sont primordiales car elles lui permettent de défendre ses intérêts lors de l'élaboration de règles et de directives internationales sur le régime de sécurité et de sûreté nucléaire.

32 – Gähns et al. (2021)

33 – Programme de recherche CCUS/NET de l'OFEN <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/forschung-und-cleantech/forschungsprogramme/ccus-net.html>

34 – <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/approvisionnement/statistiques-et-geodonnees/statistiques-de-lenergie/statistiques-sectorielles.html> (en allemand)

SUJETS DE RECHERCHE PRIORITAIRES 2025–2028

Réseaux énergétiques, intégration dans le système, couplage des secteurs: architecture de contrôle de l'infrastructure du réseau, technologies pour le couplage des secteurs, utilisation future de l'infrastructure existante, flexibilité, intégration et résilience du système

- Réseaux électriques: outils de planification et d'exploitation; intégration des énergies renouvelables» effets sur la stabilité des réseaux; systèmes résilients de protection et de localisation des défaillances, matériaux et technologies innovants pour les composants des réseaux, aspects liés à l'intégration dans le système;
- Réseaux thermiques: prévision de la demande, technologies de refroidissement, conception et fonctionnement des systèmes de chauffage/refroidissement urbains (DHC pour «district heating and cooling») (potentiel et intégration);
- Stockage: centrales de pompage-turbinage (hybridation, petite échelle, modernisation), air comprimé (efficacité, cavernes), stockage à long terme (concepts avancés; catalytique, chimique et électrochimique, réduction des émissions de CO₂, biocarburants et biocombustibles pouvant être stockés, génération d'hydrogène), batteries (disponibilité du matériel, concepts de fabrication, coûts, recyclage), stockage de chaleur (stabilité thermomécanique de la phase solide, dégradation du transfert de chaleur des MCP (matériaux à changement de phase), stockage thermochimique, stockage souterrain, opérations en essaim), stockage à court terme, V2G (Vehicle-to-Grid);
- Flexibilité contre stockage;
- Technologies efficaces de récupération, de transformation, de stockage et d'échange d'énergie chimique, thermique et électrique (aspects du couplage de secteur);
- Réseaux multi-énergies pour encourager les synergies et réduire l'empreinte carbone de la chaleur et du courant sur les sites industriels avec des sources d'énergie fluctuantes et des modes d'utilisation dynamiques.

Énergie renouvelable: technologies pour la flexibilité, intégration au système énergétique spécifique à la technologie

- Hydroélectricité: conformité réglementaire, déplacement de la production vers l'hiver, recherche sur la sécurité opérationnelle;
- Photovoltaïque: amélioration des performances et réduction des coûts; intégration durable, fiable et circulaire de la production photovoltaïque (bâtiments, véhicules, agriculture);
- Solaire thermique: champs de capteurs solaires de grande taille pour des applications futures dans les immeubles d'habitation collective, les processus industriels et les réseaux thermiques;
- Bioénergie: matières premières durables et technologies de conversion» produits et coproduits liés à l'énergie; intégration des centrales bioénergétiques et couplage des secteurs; technologies de stockage de l'énergie et de contrôle du climat (BECCUS pour «Bio-Energy Carbon Capture Utilisation & Storage»); aspects sociétaux;
- Procédés efficaces et respectueux de l'environnement pour le prétraitement de la biomasse complexe destinée à être utilisée comme matériaux, carburants et combustibles;
- Procédés efficaces et respectueux de l'environnement dans la phase d'utilisation des biocarburants et des biocombustibles ou des carburants et combustibles synthétiques (combustion, piles à combustible, etc.);
- Production durable, réutilisation, recyclage et élimination des batteries, des piles à combustible et des catalyseurs à l'échelle commerciale;
- Géo-énergie: prospection, exploration, ressources souterraines; sécurité;
- Énergie éolienne: configuration des installations, turbines dans les forêts, prévisions, réduction du bruit, givre

Technologies de stockage

- Électricité: batteries, condensateurs;
- Stockage mécanique: centrales de pompage-turbinage;
- Stockage chimique: carburants et combustibles avancés, biocarburants et biocombustibles; carburants et combustibles (liquides, gazeux, solaires); carburants, combustibles et matériaux solaires (matériaux d'oxydoréduction, transport de chaleur et de masse), approches photochimiques;
- Stockage thermique.

Énergie nucléaire et déchets radioactifs

- Exploitation à long terme des centrales nucléaires » problèmes de vieillissement;
- Impact des tremblements de terre;
- Élimination des déchets;
- Impacts des rayonnements ionisants sur l'être humain;
- Concepts de réacteurs avancés et innovants (aspects internationaux, compétences);
- Conservation des compétences et des connaissances;
- Conservation des compétences et des connaissances.

TRAVAIL ET HABITAT

Le parc immobilier du futur ne devra générer aucune émission de gaz à effet de serre. Il contribue de manière décentralisée à la fourniture stable de chaleur, de froid et d'électricité dans les réseaux énergétiques. Il est exploité selon les principes d'efficacité énergétique et de neutralité carbone. Les émissions de gaz à effet de serre qui ne peuvent pas être évitées dans le cadre de la construction, de la rénovation et de la démolition doivent être stockées de manière durable. La recherche met en évidence des pistes socialement acceptables impliquant des moyens technologiques ainsi que des instruments sociétaux et politiques.

Conformément à cette vision, des recherches sont menées, dans la priorité thématique «*Travail et habitat*», sur des technologies et des concepts propres à diminuer les besoins énergétiques, à augmenter l'efficacité lors de la transformation et de l'utilisation de l'énergie et à renforcer sa valorisation (exergie). À l'avenir, les besoins humains dans les domaines du travail et de l'habitat devront être satisfaits de manière neutre pour le climat, en ménageant les ressources et dans une démarche socialement supportable.

Pour mieux prendre en compte la fonction de «pôle énergétique» du parc immobilier, la recherche porte sur le stockage décentralisé de l'énergie, la production locale d'énergie renouvelable dans les bâtiments, les sites, les quartiers et les villes ainsi que sur la combinaison de la consommation d'énergie, de la production et du stockage décentralisés et des infrastructures énergétiques. Les systèmes énergétiques décentralisés doivent être intégrés de manière judicieuse dans le futur système énergétique de la Suisse, afin d'assurer un approvisionnement énergétique qui préserve le climat et soit sûr, efficace et économe.

Les stratégies visant à augmenter l'efficacité et à passer de manière cohérente à des sources d'énergie renouvelables sont essentielles pour parvenir à la neutralité climatique dans la gestion des bâtiments. Il convient de définir la proportion optimale de gains d'efficacité en considérant le rapport coûts-bénéfices sur l'ensemble du cycle de vie. La pertinence de mesures d'efficacité supplémentaires est évaluée dans le cadre d'une comparaison avec le bilan de l'utilisation accrue des énergies renouvelables. En outre, l'exploitation énergétiquement efficace des bâtiments dépend non seulement des conditions-cadres politiques et réglementaires, mais également du comportement des propriétaires, des gestionnaires et des utilisateurs. Le fait que les possibilités de réduction et d'amélioration de l'efficacité énergétique soient pleinement exploitées et la réalisation des objectifs visés relèvent en grande partie de leur influence. Des concepts correspondants doivent être élaborés, validés (*y compris living labs et sandboxes*) et leur pertinence démontrée dans la pratique.

L'exploitation de nouveaux bâtiments ne doit générer aucune émission néfaste pour le cli-

mat et l'environnement et offrir un confort élevé en ce qui concerne le climat ambiant, le bruit et l'acoustique, la lumière et l'hygiène. Les bâtiments et les matériaux utilisés doivent être conçus de manière à préserver les ressources, à rejeter peu d'émissions et à être efficaces sur le plan énergétique. À long terme, un bilan nul en émissions de gaz à effet de serre et une économie circulaire sur l'ensemble du cycle de vie (construction, exploitation, démolition et gestion des déchets) sont à privilégier.

Pour ce faire, il faut développer des technologies et des concepts permettant une production, une transformation, une utilisation et un stockage intelligents de l'énergie dans le secteur du bâtiment, qui intègrent des possibilités d'interconnexion et d'interopérabilité avec les réseaux d'approvisionnement (électriquement et thermiquement). La recherche correspondante doit englober tant l'approche technologique que socio-économique pour prendre également en considération le comportement et les besoins des utilisateurs. Pour être diffusé efficacement sur le marché, le savoir obtenu doit être mis à disposition sous une forme appropriée, en vue de la conception de produits et d'instruments de planification, de conseil et d'exécution et, si nécessaire, de programmes et d'instruments de politique énergétique.

Les interfaces avec les autres priorités thématiques du présent plan directeur doivent être prises en considération, par exemple les aspects du couplage des secteurs, de la mobilité et de l'infrastructure énergétique, ou encore de l'influence des technologies de l'information et de la communication (TIC) et des technologies de monitoring sur l'utilisation de l'énergie issue de sources renouvelables produite de manière décentralisée. D'autres recoupements se font jour également avec la recherche dans le domaine des sciences humaines et sociales, en particulier

pour l'analyse des mesures politiques et du comportement des acteurs. De manière générale, la délimitation avec les autres priorités thématiques du présent plan directeur ne s'effectue pas en évitant les chevauchements thématiques, mais en focalisant les sujets de la priorité «Travail et habitat» spécifiquement sur les marges de manœuvre à explorer dans ce domaine.

Objectifs

Les bâtiments occasionnent environ 48% de la consommation énergétique finale³⁵ et 33% du total des émissions de CO₂ en Suisse³⁶. Ils sont donc au cœur de la Stratégie énergétique 2050. D'une part, le taux de rénovation énergétique³⁷, qui n'est actuellement que de 1%, doit augmenter sensiblement, et ce de manière urgente; selon les Perspectives énergétiques 2050+, «en s'inspirant des cantons qui ont le plus de succès et en appliquant des instruments de politique énergétique adéquats», une augmentation de 50% serait possible³⁸. D'autre part, l'accroissement de l'efficacité énergétique – au moyen de mesures techniques et non techniques – constitue un autre levier majeur pour atteindre les objectifs fixés. Dans le cadre des nouvelles constructions et des rénovations, le fait d'empêcher autant que possible les émissions grises générées lors de la fabrication (principalement des matériaux de construction) fait partie des priorités. Dans les nouvelles constructions actuelles, ces émissions sont déjà bien plus élevées que les émissions liées à l'exploitation³⁹.

La recherche a pour tâche de montrer des pistes technologiques socialement acceptables ainsi que les instruments sociétaux et politiques, qui s'inscrivent dans la vision exposée en prélude au présent plan directeur. Tandis que la loi fédérale du 30 septembre 2022 sur les objectifs en matière de protection du climat, sur l'innovation et sur

le renforcement de la sécurité énergétique⁴⁰ fixe l'objectif de zéro net pour les émissions générées sur le territoire Suisse ainsi que des trajectoires sectorielles d'ici à 2050 – dans le secteur du bâtiment, réduction de 82% jusqu'en 2040 et de 100% jusqu'en 2050 (émissions des scopes 1 et 2) –, il n'y a pas de réglementation légale concernant une prise en considération plus globale sur l'ensemble du cycle de vie dans le secteur du bâtiment (y compris les émissions du scope 3) qui irait nettement au-delà de 2050. Les objectifs quantifiables en matière de GES sur l'ensemble du cycle de vie des bâtiments sont décrits dans la norme SIA 390/1 «La voie climatique». Les objectifs formulés, qui constituent un ordre de grandeur, devraient être sensiblement dépassés dans les projets pilotes et de démonstration.

Outre l'utilisation efficiente de l'énergie, plusieurs facteurs contribuent de manière déter-

minante à la réalisation des objectifs: une fourniture d'énergie décarbonisée, une fabrication des matériaux de construction qui soit respectueuse des ressources, pauvre en émissions et énergétiquement efficace, le but étant de mettre en place une économie circulaire, et une évolution au sein de la société qui récompense les actions suffisantes. Sans anticiper de ces évolutions, il convient de créer dans le secteur du bâtiment les meilleures conditions possibles pour atteindre les objectifs susmentionnés.

35 – OFEN, *Statistique globale suisse de l'énergie 2021, part des ménages + des services dans la consommation finale*

36 – OFEV, *Évolution des émissions de gaz à effet de serre de la Suisse depuis 1990, 2023*

37 – Martin Jakob et al., 2014, *Energetische Erneuerungsraten im Gebäudebereich Synthesebericht zu Gebäudehülle und Heizanlagen (actualisation prévue en 2024)*

38 – *Perspectives énergétiques 2050+, Rapport succinct, chap. 2.3.1*

39 – Source: Norme SIA 390/1, version de la consultation 2023.

40 – Projet de loi: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/fga/2022/2403/fr>

41 – Norme SIA 390/1, version de la consultation 2023.

PRIORITÉS

Sites et quartiers

Des approches globales sont nécessaires pour, à l'avenir, couvrir le plus possible les besoins en énergie électrique et thermique de la Suisse avec des sources d'énergie locales et renouvelables. Ces approches doivent soutenir en particulier la sécurité de l'approvisionnement en hiver. Des systèmes énergétiques décentralisés et interconnectés peuvent être aménagés dans des quartiers ou sur des sites afin de fournir des services dans les domaines de la fourniture, de la transformation, de la gestion, du stockage et de la distribution d'énergie, soit au quartier ou au site en question (y compris la mobilité électrique), soit à la région environnante. Ces systèmes ne sont pas autarciques, mais doivent s'intégrer activement dans le système énergétique suisse et européen en tant que sous-systèmes du système énergétique de demain.

Les sujets de recherche portent sur la flexibilité au niveau de la charge et de la fourniture qu'offrent un site et chacun des bâtiments qui le composent pour le réseau électrique ou thermique, ainsi que sur l'utilisation de ces flexibilités (temps et lieu). Il convient de poursuivre les travaux de recherches, afin de garantir une interaction fiable et optimale entre les réseaux d'électricité et de chauffage, les bâtiments, la production et l'injection d'énergie locales, le stockage et la distribution.

Les stratégies de développement durable existantes, telles que les «émissions nettes zéro de gaz à effet de serre dans le secteur du bâtiment⁴²» ou les villes et communautés intelligentes (*Smart Cities, Smart Communities*⁴³), sont appelées à évoluer pour atteindre l'objectif d'une neutralité climatique au niveau du quartier. Il convient ici d'analyser, de développer et de tester des concepts, des processus, des mesures et des conditions-cadres. La contribution au service du réseau⁴⁴ à l'échelle des sites et des quartiers et les principes d'optimisation qui en découlent dans la pratique revêtent une importance majeure.

Bâtiments

La baisse conséquente de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ des bâtiments existants constitue un défi économique majeur; pour le relever, il faudra recourir à différentes mesures d'optimisation dans le secteur du bâtiment. D'un point de vue économique, il sera toutefois impossible d'améliorer l'ensemble du parc de bâtiments à l'horizon 2050 au moyen d'une rénovation énergétique des enveloppes des bâtiments. Par conséquent, l'accroissement de l'efficacité énergétique et la réduction des émissions de CO₂ devront être atteintes grâce à d'autres mesures qui permettront de passer à un fonctionnement sans émissions de CO₂ et sans énergies fossiles.

Pour pouvoir tirer parti de ces potentiels, il faut donc développer des approches, technologies et systèmes de rénovation des bâtiments qui soient à la fois financièrement abordables et énergétiquement efficaces. Quel que soit le type de bâtiment, les travaux doivent porter sur des éléments innovants (fenêtres et éléments de façade qui présentent des propriétés améliorées et modifiables, notamment en ce qui concerne les propriétés de transmission de la lumière, l'apport et le stockage de chaleur et les gains d'énergie). De même, la recherche doit proposer de nouvelles solutions d'isolation thermique compactes, financièrement abordables, et respectueuses de l'environnement et du climat, qui répondent aux exigences esthétiques et architectoniques.

Concernant la construction de nouveaux bâtiments, la recherche porte en priorité sur la réduction des besoins énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre sur tout le cycle de vie du bâtiment, jusqu'à atteindre l'objectif de zéro net: construction, exploitation, rénovation, démolition, réutilisation et gestion des déchets à la fin de la durée de vie. Par ailleurs, la question de rénover ou de remplacer est centrale pour pouvoir mieux exploiter le stock de matériaux existant. Pour pouvoir y apporter une réponse globale, il convient de créer des bases et des aides à la décision tant au niveau du bâtiment/de la parcelle concerné qu'au niveau économique global.

De manière générale, les bâtiments doivent être adaptés aux futurs besoins en matière de confort et d'espace, autrement dit concilier flexibilité d'utilisation et efficacité des ressources. Des technologies et processus novateurs peuvent y contribuer. Afin de réduire autant que possible les flux de matériaux, il convient d'élaborer des indicateurs, des stratégies et des instruments appropriés, de privilégier la fermeture des cycles des matières et d'accroître la possibilité de recyclage en vue d'une économie circulaire.

Technique du bâtiment

De nos jours, les bâtiments consomment non seulement de l'énergie, mais ils en produisent également à partir de sources renouvelables. Ils assument donc un nouveau rôle au sein du système énergétique. «Alors qu'ils consommaient surtout de l'énergie jusqu'à présent, ils se transforment peu à peu en plaque tournante de l'énergie. Ils produisent de l'électricité et de la chaleur, stockent l'énergie et deviennent la «station-service» de nos véhicules. En résumé, les bâtiments deviennent un hub énergétique et contribuent ainsi à la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050 de la Confédération.»⁴⁵ L'intégration d'accumulateurs thermiques et électriques au niveau local gagne en importance, afin que les bâtiments puissent contribuer à la stabilité du réseau. Un accumulateur électrique dans le secteur du bâtiment sert principalement à stocker à court terme de l'énergie renouvelable produite localement, tandis qu'un accumulateur thermique permet de stocker de l'énergie sur différentes échelles de temps. Grâce au couplage des secteurs, les accumulateurs thermiques saisonniers peuvent contribuer à soulager le réseau électrique en hiver notamment.

À l'avenir, la forme d'énergie et la technologie de stockage utilisées dans les bâtiments seront déterminées indépendamment du secteur; elles dépendent néanmoins fortement de l'application spécifique et de l'exergie. Dans tous les cas, l'analyse du cycle de vie doit s'appuyer non seulement sur des technologies prometteuses, mais également sur des concepts d'intégration et d'exploitation

efficaces, fiables et financièrement abordables. Il convient ici d'accorder une attention particulière à la baisse des besoins en électricité en hiver grâce au stockage et à la fourniture locale d'énergie. Par conséquent, les technologies visant à produire de l'énergie (thermique, électrique) à partir de sources renouvelables en mettant à profit le bâtiment et à utiliser les rejets de chaleur doivent être perfectionnées pour devenir plus rentables.

Les installations locales de fourniture d'énergie doivent devenir «plus intelligentes»: il faudrait généraliser le recours aux solutions qui vont du monitoring local à l'intégration dans des systèmes supérieurs de gestion de l'énergie au niveau du bâtiment, du quartier, du site et de la ville en passant par une surveillance du fonctionnement, des diagnostics automatisés et standardisés et des alertes aux gestionnaires.

Des technologies performantes de pompes à chaleur destinées au chauffage des locaux et à la production d'eau chaude sanitaire font partie des conditions requises pour pouvoir couvrir la consommation d'énergie des bâtiments énergétiquement efficaces par des sources renouvelables. Des études approfondies sont nécessaires pour déterminer les opportunités et les risques liés à l'exploitation du sous-sol (notamment dans les zones de protection des eaux souterraines) avec différentes technologies de production d'énergie telles que des systèmes de sondes géothermiques, des puits dans la nappe phréatique, les eaux thermales, etc., pour chauffer ou refroidir à différentes échelles (bâtiments, quartier, ville).

La fréquence des périodes caniculaires tendant à augmenter, les besoins en matière de refroidissement devraient progresser à l'avenir dans le secteur du bâtiment. Un réglage plus fin des installations de refroidissement sera nécessaire, ce qui pose des exigences supplémentaires pour assurer une exploitation efficace en charge partielle. En raison des effets climatiques locaux, les immeubles d'habitation en zone urbaine, en particulier, seront concernés. Pour éviter l'utilisation

incontrôlée d'appareils inefficaces affectant l'espace extérieur (par exemple climatiseurs biblocs), il convient d'examiner les potentiels, les concepts et les technologies permettant un refroidissement passif et actif énergétiquement efficace, respectueux des ressources et optimisé en termes de coûts, y compris le raccordement d'accumulateurs thermiques (chaud/froid) et le recours à des installations de protection solaire.

La technique du bâtiment joue un rôle important dans l'analyse du cycle de vie des bâtiments. Toutefois, les données disponibles concernant l'évaluation du cycle de vie pour les éléments et les systèmes de la technique du bâtiment sont lacunaires. Elles doivent être traitées de manière ciblée et mises à disposition en tant que jeux de données directement exploitables.

Les recherches doivent porter sur l'élaboration de solutions innovantes basées sur les TIC concernant les technologies d'automatisation, de mesure, de pilotage et de réglage, permettant de surveiller et de réguler la consommation d'énergie du bâtiment, c'est-à-dire de coordonner la consommation interne de l'énergie produite dans et sur le bâtiment, le stockage technique et structurel spécifique au bâtiment ainsi que la mise en réseau de ce dernier. Les aspects liés à la contribution à la stabilité du réseau, en particulier, doivent être pris en compte ici.

Être humain, marché, politique

Dans le cadre de la priorité thématique «*Travail et habitat*», il convient d'examiner les possibilités d'accélérer la transformation du parc immobilier et d'accroître le taux de rénovation. Il faut étudier l'acceptation des nouvelles technologies, des nouveaux concepts, processus et modèles par les investisseurs et les utilisateurs, ainsi que la façon de surmonter d'éventuels obstacles. L'évolution réglementaire dynamique de l'UE et ses répercussions sur la Suisse doivent également être prises en compte (not. l'élargissement de la Directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments – PEB – dans le cadre du Pacte vert).

De plus, il convient d'analyser les motivations et les incitations qui pourraient encourager les propriétaires fonciers et d'autres acteurs⁴⁶ à se mettre en réseau (électricité, chauffage), tous secteurs confondus. Il est également nécessaire d'observer comment les avantages et les bénéfices tirés de la mise en réseau sont répartis et de réfléchir aux critères de répartition. Les pouvoirs publics devraient examiner l'élaboration d'approches régionales destinées à approvisionner les bâtiments en énergie en utilisant des biens publics, par exemple en cas de géothermie de faible profondeur (nappe phréatique, sondes géothermiques à une profondeur inférieure à 500 mètres) et de rejets de chaleur (installations d'incinération des ordures ménagères, installations de traitement des eaux usées, zones industrielles, etc.).

La mise en œuvre de solutions énergétiques en réseau, décentralisées et fondées sur des sources renouvelables, pour des sites ou des quartiers regroupant plusieurs propriétaires et acteurs, est un défi complexe. Il convient d'étudier et d'évaluer des modèles prometteurs pour la définition des organismes responsables aussi bien que pour les processus (participatifs) destinés au développement de l'acceptation, aux démarches et à la prise des décisions pendant la phase de conception et pendant l'exploitation. Les résultats permettront de définir les conditions-cadres des processus de planification et de conseil.

42 – [Émissions nettes zéro de gaz à effet de serre dans le secteur du bâtiment – Questions F0 F1 F3 F4 et coordination générale OC - Texte \(admin.ch\)](#)

43 – [Qu'est-ce qu'une Smart City? \(local-energy.swiss\)](#)

44 – Une ou plusieurs installations électriques (producteurs, consommateurs ou solutions de stockage) qui contribuent à réduire les coûts du réseau (entre autres réduction des congestions du réseau, besoin d'extension du réseau ou gestion optimisée de l'exploitation du réseau) sont au service du réseau. Source (en allemand): [Was ist Netzdienlichkeit? - FfE](#)

45 – EnDK, 2023, [Page d'accueil - Hub énergie bâtiment](#)

46 – Une étude plus approfondie du comportement des acteurs dans le domaine du travail et de l'habitat et des facteurs qui l'influencent figure dans la priorité thématique «*Économie, société et mesures politiques*».

SUJETS DE RECHERCHE PRIORITAIRES 2025–2028

Sites et quartiers

- Fiabilité des systèmes énergétiques comprenant des sources locales d'énergie renouvelable et mesures relatives à l'efficacité énergétique pour accroître la sécurité d'approvisionnement, notamment en hiver;
- Bâtiments et sites (y compris la mobilité électrique) en tant que fournisseurs d'énergie: quelle flexibilité au niveau de la charge ou de la fourniture d'énergie un bâtiment ou un site peut-il offrir au réseau électrique ou thermique, et à quel prix? Allocation de ces flexibilités (bâtiments, site, quartier)?
- De la gestion énergétique d'un bâtiment à celle d'un site ou d'un quartier: concepts, planification, exploitation;
- Réaménagement des stratégies existantes de développement durable telles que «émissions nettes zéro de gaz à effet de serre dans le secteur du bâtiment» ou «Villes et communautés intelligentes» pour tendre vers la neutralité climatique au niveau des quartiers, ainsi que la démonstration de ces nouvelles approches. Sur cette base, analyse, élaboration et test de concepts, de processus, de mesures, de conditions-cadres et d'incitations;
- Examen des marges de manœuvre concernant les réseaux thermiques du point de vue des bâtiments, des sites et des quartiers: typologies, stockage, intégration des énergies renouvelables, concepts innovants d'approvisionnement des consommateurs de chaleur avec des températures de départ élevées pour le chauffage des locaux.

Bâtiments

- Systèmes efficaces en termes d'énergie et de coûts pour assainir le bâtiment. Nouveaux concepts, nouvelles approches et technologies à la fois pour l'enveloppe du bâtiment et pour les solutions d'assainissement énergétique sans isolation thermique extérieure;
- Rénovation ou remplacement? Bases et aides à la décision destinées à fournir une réponse globale à cette question au niveau du bâtiment/de la parcelle et dans le contexte économique global;
- Isolation thermique: nouveaux matériaux et nouvelles constructions qui sont énergétiquement efficaces, respectueux de l'environnement, financièrement abordables et compacts;
- Réduction des flux de matériaux, évaluation du cycle de vie et augmentation de la capacité de recyclage en vue d'une économie circulaire.

Technique du bâtiment

Technique décentralisée

- Nouvelles technologies et nouveaux matériaux de stockage de la chaleur efficaces en termes de coûts (thermo-chimique, latent);
- Évaluation du cycle de vie des éléments et systèmes de la technique du bâtiment;
- Nouvelles approches pour le pilotage intelligent et l'optimisation auto-adaptative et automatisée de l'exploitation des systèmes de technique du bâtiment en vue d'une exploitation correcte et efficace (y compris monitoring, diagnostic des pannes, notification de maintenance, etc.);

Utilisation thermique ou électrique des énergies renouvelables locales

- Systèmes solaires/solaires thermiques intelligents (intégration dans le système de gestion de l'énergie, surveillance du fonctionnement, alertes automatisées à l'installateur, pilotage de l'autoconsommation dans les systèmes hybrides);
- Réduction du besoin hivernal en électricité grâce à des accumulateurs et à la fourniture d'énergie au niveau local (solaire, couplage chaleur-force, substitution des rejets de chaleur, géothermie, etc.);
- Refroidissement efficace, y compris refroidissement de l'espace urbain préservant les ressources, intégration d'accumulateurs thermiques (chaud/froid), solutions optimisées du point de vue des ressources et des coûts pour un refroidissement actif et passif des bâtiments.

Technologies de l'information et de la communication (TIC)

- Solutions comprenant des TIC innovantes pour la domotique et pour les technologies de mesure, de pilotage ou de réglage.

Être humain, marché, politique

- Étude des possibilités (nouvelles approches pour les incitations, les normes et les prescriptions) permettant d'accélérer la transformation du parc immobilier et d'augmenter le taux de rénovation;
- Étude des facteurs d'influence, des motivations et des obstacles ainsi que des incitations possibles qui poussent les propriétaires fonciers à former ou à rejoindre un réseau (nouveaux processus participatifs et modèles commerciaux pour toutes les parties prenantes, y compris les locataires).

MOBILITÉ

Une mobilité efficace et socialement acceptable qui prend en compte tous les aspects de la durabilité nécessite une offre diversifiée et intégrée de moyens de transport exempts d'émissions.

La mobilité désigne le transport de personnes et de biens par différents moyens. En Suisse, le secteur du transport (hors transport aérien international) est responsable de 31% des émissions de gaz à effet de serre, ce qui en fait le secteur le plus émetteur⁴⁷. Il arrive également en tête s'agissant de la consommation d'énergie, avec une part de 32%⁴⁸. À l'exception d'une baisse de courte durée liée à la pandémie entre 2020 et 2022, la consommation et les émissions n'ont que faiblement diminué depuis 1990, et le secteur est très loin d'avoir atteint ses objectifs de réduction⁴⁹.

Entretemps, de nouvelles technologies de propulsion basées sur les énergies renouvelables se sont établies, en premier lieu la mobilité électrique. Grâce à la transformation rapide de l'industrie automobile et aux modifications de la réglementation, on peut raisonnablement supposer que la moitié des automobiles en Suisse fonctionneront à l'électricité autour de 2035⁵⁰. Dans le secteur du trafic lourd également, l'électrification des systèmes de propulsion semble s'imposer, l'hydrogène/les piles à combustible ainsi que les carburants synthétiques offrant ici de nouvelles alternatives renouvelables. D'après l'AIE, la mobilité électrique et le photovoltaïque sont des technologies décisives pour réduire de manière rapide et économique les émissions à moyen terme⁵¹. Grâce à l'électrification attendue de la quasi-totalité du trafic routier, les objectifs de réduction nationaux sont à portée de main. Le transport aérien, la navigation en haute mer et certaines applications spécifiques (par exemple engins non routiers, technique agricole) se prêtent plus difficilement à l'électrification et resteront tributaires des agents énergétiques chimiques

au moins en partie. De nouveaux carburants durables obtenus à partir de la biomasse ou issus de l'électricité ou de la chaleur renouvelables représentent toutefois des solutions. Grâce aux cycles d'investissement sensiblement plus courts pour les véhicules que ceux en vigueur dans l'immobilier ou pour l'infrastructure énergétique, la décarbonation du transport national progresse rapidement. Techniquement, il convient de s'assurer avant tout que les énergies renouvelables sont disponibles dans une quantité suffisante. Cela impose une intégration dans le système énergétique bien plus forte, en particulier pour la mobilité électrique. Dans un système efficace, les technologies clés que sont le photovoltaïque et la mobilité électrique se complètent de manière idéale, dans le temps et dans l'espace, pour mettre à disposition l'énergie, mais aussi dans la perspective d'une extension convergente du réseau et de l'intégration optimale des énergies renouvelables.

La mobilité reste un besoin humain fondamental et une condition à la prospérité économique. La mobilité électrique permet de se déplacer localement et quasiment sans générer d'émissions de CO₂ ni d'autres gaz néfastes. Par ailleurs, les émissions de bruit sont, elles aussi, plus faibles lorsque la vitesse est réduite. D'autres externalités liées au transport de même que le besoin de surface, la charge exercée sur l'infrastructure, et les conséquences des embouteillages demeurent, en revanche, inchangés. Des transformations systémiques supplémentaires sont donc nécessaires pour pouvoir parvenir à un système de transport durable, efficace et socialement acceptable. En Suisse, la voiture restera le principal mode de transport dans un avenir prévisible⁵². Toutefois, il s'agit

aussi du moins efficace en termes de besoin de surface et de consommation d'énergie par personne-kilomètre. L'évitement du trafic et le transfert vers des modes de transport plus durables seront les principaux leviers pour accroître l'efficacité énergétique et réduire les externalités liées au transport. Les effets de rebond de la mobilité électrique ainsi que les modifications des comportements de travail et de loisirs placent les transports publics face à des défis importants. Parallèlement, le vélo connaît un véritable essor depuis quelques années, tendance renforcée par la pandémie. Cette évolution est la résultante d'une conscience accrue de la durabilité et du plaisir de se déplacer, mais aussi de l'engouement suscité en particulier par le vélo électrique. Un comportement durable en matière de transport avec un encouragement ciblé de la mobilité active⁵³ et de l'infrastructure requise, mais aussi de l'utilisation des transports publics et de la micromobilité peuvent permettre une transformation plus économique et plus durable du transport de voyageurs que la mobilité électrique seule.

Dans le contexte du couplage des secteurs et de l'intégration dans le système énergétique, des recoupements avec les autres priorités thématiques du présent plan directeur se font jour, en particulier avec la mobilité électrique en tant que consommateur et solution de stockage flexibles, sans oublier l'effet des changements de comportement et des modifications de la réglementation (voir chapitre [systèmes énergétiques](#)).

Objectifs

La Stratégie climatique à long terme de la Suisse fixe l'objectif de zéro net d'ici à 2050 à la fois pour le transport national et pour le transport aérien international. La transformation du transport aérien constitue un défi global et est abordée en tant que tel également au plan international. Le fait qu'à moyen terme, son fonctionnement devra reposer à 100% sur des carburants d'aviation durables (CAD; en anglais *sustainable aviation fuels*, SAF) fait l'objet d'un large consensus⁵⁴.

Le transport national ne devra plus émettre de gaz à effet de serre à partir de 2050, à de rares exceptions près. Les Perspectives énergétiques 2050+ proposent différents scénarios permettant d'atteindre cet objectif. Ces scénarios se distinguent en particulier par le niveau d'électrification et par le rôle joué par les carburants biogènes et synthétiques. Il semble d'ailleurs que l'électrification du trafic routier progresse bien plus rapidement que les prévisions des Perspectives énergétiques 2050+⁵⁵. Ainsi, en 2035, les véhicules électriques devraient déjà représenter 60% de l'ensemble des voitures de tourisme. Parallèlement, le besoin en électricité pour la mobilité électrique atteindra 7 TWh à cet horizon. Le développement rapide de l'infrastructure de recharge et l'intégration globale de la mobilité électrique dans le système énergétique sont donc urgents. En 2021, le trafic routier était responsable de 97% des émissions du transport national⁴⁴. Des mesures adaptées permettront de réduire, au moins de moitié, les émissions locales du transport national d'ici à 2035.

La progression rapide de l'électrification place le développement de l'infrastructure de recharge face à des défis majeurs. Les véhicules électriques sont des consommateurs flexibles qui possèdent une capacité de stockage élevée. Des solutions pratiques doivent être trouvées de toute urgence, afin de pouvoir intégrer la mobilité électrique dans le système énergétique de manière utile au réseau, au système et efficace en termes de coûts. Par ailleurs, le recours aux batteries, désormais massif, impose de prendre encore plus en considération l'aspect d'une fabrication économe en ressources, la possibilité de «seconde vie», et le recyclage. Concernant les applications qui se prêtent difficilement à une électrification, des alternatives neutres pour le climat, essentiellement basées sur les agents énergétiques biogènes et synthétiques, doivent être développées.

Dans un habitat et un monde professionnel en mutation permanente, les besoins en termes de mobilité évoluent, eux aussi. Le

télétravail, mais aussi d'autres manifestations de la numérisation, et un aménagement du territoire durable permettent de réduire la mobilité. Les nouvelles offres de mobilité et une meilleure intégration de la multimodalité doivent augmenter significativement la part des modes de transport efficaces et durables tels que le train, le bus, la micromobilité et la mobilité active. Outre les objectifs en matière de protection du climat et d'accroissement de l'efficacité, il est indispensable de prendre en compte d'autres aspects de la durabilité.

47 – [Inventaire des gaz à effet de serre de la Suisse, OFEV 2023](#)

48 – OFEN, [Statistique globale de l'énergie 2021](#)

49 – [Stratégie climatique à long terme de la Suisse, OFEV 2021](#)

50 – [Conception Infrastructure de recharge 2050. Comment la Suisse rechargera-t-elle à l'avenir? OFEN 2023](#)

51 – [Net Zero by 2050: a roadmap for the global energy sector, IEA 2021: Net Zero by 2050 – Analysis - IEA](#)

52 – [Perspectives d'évolution du transport 2050, ARE 2021](#)

53 – [La mobilité active désigne le déplacement à pied et à vélo.](#)

54 – [Rapport de l'OFAC concernant la promotion du développement et de l'utilisation de carburants d'aviation durables: Aviation et protection du climat: un rapport de l'OFAC met en évidence l'importance des carburants durables \(admin.ch\)](#)

55 – [Conception Infrastructure de recharge 2050, OFEN 2023: recharge-au-point.ch](#)

PRIORITÉS

Au regard du développement extrêmement dynamique de la mobilité au cours des dernières années et de l'évolution rapide des conditions-cadres, la recherche doit faire preuve de flexibilité et de réactivité. Il convient ici de toujours garder à l'esprit l'objectif à long terme d'une mobilité exempte d'émissions, durable et socialement acceptable. L'évolution continue dans le domaine des systèmes de propulsion nécessite une fourniture et une distribution rapides et adaptées de [l'énergie](#). Il est urgent d'agir et de poursuivre les recherches en la matière. Parallèlement, une transformation globale du système de transport au niveau systémique doit être encouragée. La stratégie de mobilité globale selon la démarche «*avoid-shift-improve*», autrement dit: «éviter, transférer, améliorer», reste inchangée.

Fourniture d'énergie et intégration globale dans le système

La progression rapide de l'électrification du trafic routier ne doit pas être entravée par une infrastructure de recharge ou une production d'énergie insuffisantes. La part croissante du photovoltaïque et des autres énergies renouvelables intermittentes impose une flexibilité élevée de la part des consommateurs. La recharge bidirectionnelle permet une recharge flexible des véhicules électriques mais aussi une réinjection dans le réseau de l'énergie excédentaire stockée dans ces derniers (*vehicle-to-grid*, V2G). Dans le cadre de la convergence des réseaux, la mobilité électrique doit être intégrée de sorte à réduire autant que possible le besoin d'extension du réseau. Cela implique notamment d'utiliser de l'énergie locale et renouvelable pour la recharge des véhicules et d'utiliser une partie de la batterie des véhicules comme solution de stockage, afin d'accroître la consommation propre des bâtiments, des sites et des communautés d'énergie. Des solutions techniques pratiques et efficaces et des modèles commerciaux qui fonctionnent font cependant encore défaut.

Une intégration de la mobilité électrique au service du réseau et du système doit permettre d'accroître de manière globale la stabilité et la flexibilité du réseau électrique et rendre possible une intégration optimale des énergies renouvelables, en particulier du photovoltaïque, grâce au stockage intermédiaire de ces énergies. Les véhicules privés se prêtent tout particulièrement au V2G en raison des courtes distances quotidiennes parcourues. Cela suppose toutefois un raccordement au réseau qui soit le plus long possible et la délégation d'une partie du contrôle des véhicules à une instance externe. Cette augmentation de l'utilité du véhicule doit être attractive pour le propriétaire. La gestion de la charge des véhicules utilitaires (camions et bus) est bien plus exigeante. Ici, l'autonomie et la puissance dépendent typiquement de l'utilisation. L'enjeu consiste donc à développer des stratégies de charge qui correspondent au mieux à l'utilisation, à la capacité de la batterie et à la disponibilité de l'énergie. Les batteries joueront un rôle central dans le système de transport de demain. Leur production est à l'origine d'une grande partie des émissions liées à la fabrication des véhicules électriques. Une production plus durable et la réutilisation des batteries et composants («seconde vie», recyclage) sont essentielles pour parvenir à une économie circulaire efficace en termes de ressources.

Enfin, il s'agit également de faire progresser la transformation des secteurs qui se prêtent difficilement à une électrification, en particulier le transport aérien et la navigation en haute mer, mais aussi les véhicules spéciaux, dans le but d'atteindre les objectifs en matière de réduction des émissions. L'hydrogène et ses produits dérivés (ammoniac, méthanol) ainsi que les carburants durables provenant de sources synthétiques ou biogènes sont particulièrement prometteurs. Leur utilisation doit être étudiée sur les plans technologique, [systémique](#) et [économique](#).

Développement des véhicules et optimisation

À mesure que la mobilité électrique devient mature, son développement industriel progresse. Le besoin d'optimisation ici concerne les technologies de recharge, l'électronique de puissance, les batteries de stockage, ainsi que la consommation des unités auxiliaires, notamment la climatisation. Concernant la mobilité urbaine, un potentiel existe pour de nouvelles formes de la micromobilité efficace et pour des véhicules électriques (partiellement) autonomes. Dans l'agriculture et dans le secteur de la construction, de nombreuses applications spécifiques nécessitent le développement de technologies de propulsion durables. Parallèlement à une électrification directe, il s'agit aussi d'étudier l'utilisation de carburants durables.

Le système de transport dans son ensemble

Dans un système de transport moderne, le transport de marchandises et le transport de voyageurs ont à leur disposition différents outils, en fonction de l'objectif du déplacement. Un système d'une telle complexité nécessite d'optimiser de manière globale et continue des paramètres décisifs tels que les émissions générées, la consommation énergétique, l'accessibilité, le confort, mais aussi la résilience. Il convient ici de prendre également en compte l'évolution de la demande de transport et de la disponibilité des agents énergétiques et des moyens de transport.

Concernant le transport de voyageurs, la voiture reste, bien souvent, le moyen de transport le plus confortable et le plus rapide. Et la mobilité électrique ainsi que l'automatisation croissante renforcent encore son attractivité. En raison des coûts externes élevés du transport individuel, un transfert vers des moyens de transport plus durables serait souhaitable sous un angle écologique et sociétal. De nouveaux modèles commerciaux et de

nouvelles offres de mobilité, en particulier la mobilité partagée et la mobilité en tant que service (*MaaS, Mobility as a Service*), pourraient représenter davantage des alternatives intéressantes à la possession d'un véhicule personnel. La disponibilité générale de données sur la mobilité rend possible l'utilisation combinée et efficace de plusieurs moyens de transport au sens d'une mobilité multimodale. De nouvelles formes de micromobilité et le vélo électrique offrent des solutions efficaces de raccordement au dernier kilomètre et d'intégration aux hubs de mobilité. Le comportement en matière de mobilité est influencé, d'une part, par des changements sociétaux, en particulier par les nouvelles formes flexibles de travail, et, d'autre part, par des changements dans les habitudes de loisirs. Des mesures d'aménagement du territoire telles que la «ville du quart d'heure» et la «mobilité induite» peuvent aussi jouer un rôle déterminant au niveau des besoins en matière de mobilité.

Dans le cadre d'une approche globale, il convient aussi de tenir compte du transport de marchandises, lequel partage souvent l'infrastructure du transport de voyageurs. Concernant le transport routier de marchandises, une électrification rapide se profile en particulier en Suisse. Parallèlement à une logistique urbaine efficace et à de nouvelles formes du transport combiné non accompagné qui intègrent le rail, de nouvelles approches multimodales et intermodales apparaissent. Une évaluation périodique des opportunités économiques et des bienfaits écologiques offerts par les nouvelles technologies et les concepts de transport globaux est nécessaire pour disposer de bases décisionnelles claires.

Être humain, marché et politique

Le comportement des acteurs du transport de voyageurs et du transport de marchandises est différent. Le transport de marchandises est géré de manière rationnelle et les coûts jouent un rôle déterminant au niveau des décisions. En conséquence, sa transformation passe par des modes de transport

efficaces en termes de coûts et des conditions-cadres réglementaires adaptées (RPLP, *road-pricing*). La combinaison avec de nouvelles technologies, en particulier avec les véhicules (partiellement) autonomes, et avec un système de transport en mutation globale peut offrir de nouvelles opportunités. Les coûts d'investissement élevés et les cycles de vie parfois longs du transport de marchandises doivent être pris en compte.

À l'inverse, dans le secteur du transport de voyageurs, les individus agissent de manière rationnelle seulement dans une mesure limitée. Comprendre dans le détail les besoins individuels et les changements de comportements en matière de mobilité est indispensable pour pouvoir orienter la décision portant sur le moyen de transport dans le sens de la mobilité durable. Les tendances sociétales et la progression de l'urbanisation doivent aussi être prises en compte. La mobilité électrique et la conduite autonome à venir présentent un fort potentiel en matière d'effets de rebond. Il est important de les identifier suffisamment tôt et d'y faire face par des mesures adaptées. L'érosion de l'impôt sur les huiles minérales impose de repenser le financement global de l'infrastructure de transport, par exemple dans le sens d'une *road pricing* ou d'une *mobility pricing* (tarification de la mobilité, mise en place de péages routiers). Dans le domaine des transports publics également, des systèmes de tarifs adaptés permettront de mieux répartir la demande et de compenser les coûts élevés d'investissement et d'exploitation. Des travaux de recherche doivent être réalisés, afin d'étudier l'acceptation et l'impact de telles mesures réglementaires ainsi que la possibilité de créer de nouvelles incitations.

Pour pouvoir intégrer la mobilité électrique en tant que solution de stockage flexible sur le marché de l'énergie, il convient d'examiner la nécessité d'adapter la régulation ou la conception de marché, pour que de nouveaux modèles commerciaux soient à la fois durables et rentables.

SUJETS DE RECHERCHE PRIORITAIRES 2025–2028

Fourniture, transformation et consommation d'énergie, intégration dans le système

- Utilisation/intégration optimale des agents énergétiques renouvelables;
- Intégration flexible et efficaces de la mobilité dans le système énergétique;
- Infrastructure de recharge, chargement bidirectionnel, exploitation de la flexibilité et du stockage;
- Exigence en termes de développement du réseau – convergence des réseaux;
- Durabilité des matières premières et des ressources dédiées à la mobilité, économie circulaire;
- Accroissement de l'efficacité du système de propulsion et de la distribution/du stockage de l'énergie;
- Accroissement de l'efficacité des unités auxiliaires et d'autres composants, aérodynamique et réduction du poids;
- Carburants durables, biogènes et synthétiques: production, utilisation.

Système de mobilité: concepts, analyses

- Influence de nouvelles technologies et offres sur le système global;
- Modélisation/optimisation du système global, en tenant compte de la disponibilité des différents agents énergétiques et des autres ressources;
- Augmentation de l'attractivité des moyens de transport durables: mobilité active et transports publics ainsi que leur priorisation dans les mesures d'aménagement du territoire;
- Logistique efficace: nouveaux concepts, transport de marchandises intermodal et multimodal;
- Évaluation globale et complète du système de transport ainsi que des différents modes de transport et agents énergétiques au plan technico-économique, mais aussi au regard de la durabilité et de l'acceptation dans la société.

Être humain, marché et politique

- Compréhension des besoins de mobilité individuels, du comportement en matière de mobilité et du choix du moyen de transport;
- Interaction avec l'offre de mobilité en pleine mutation et le développement de l'infrastructure (effets de rebond);
- *Mobility pricing* (tarification de la mobilité), tarifs dynamiques: acceptation, incitations, possibilités, effets et coûts.

PROCESSUS INDUSTRIELS

«Les processus industriels constituent des piliers d'une économie circulaire dans laquelle l'empreinte écologique des matériaux, de l'énergie et des émissions sur l'ensemble du cycle de vie des produits et des services est réduite au minimum.

La recherche permet de développer des procédés technologiques novateurs et des pratiques de gestion intelligentes qui font progresser l'efficacité des ressources dans l'industrie, de sorte que le besoin résiduel en énergie soit couvert par des sources renouvelables et que la Suisse réussisse à atteindre l'objectif de zéro net⁵⁶.»

Protection du climat

La Stratégie climatique à long terme de la Suisse fixe un objectif ambitieux dans le secteur de l'industrie: réduire les émissions de GES de 90% d'ici à 2050 par rapport à la valeur de référence de 1990, soit 13,6 millions de tonnes d'équivalent CO₂ (éq.-CO₂). Dans le cadre du vote du 18 juin 2023 sur la loi fédérale sur les objectifs en matière de protection du climat, sur l'innovation et sur le renforcement de la sécurité énergétique (contre-projet indirect à l'initiative pour les glaciers), le peuple suisse a approuvé cet objectif et demandé que toutes les entreprises aient ramené leurs émissions à zéro net d'ici à 2050. Pour ce faire, la loi octroie aux entreprises des aides financières pour le recours à des technologies et processus innovants. Elle oblige également la Confédération à couvrir les risques liés aux investissements dans les infrastructures publiques nécessaires pour atteindre l'objectif de zéro net.

Il est très important d'agir car les dernières valeurs en date de 2021⁵⁷ sont encore très éloignées de cet objectif: en 2021, les émissions du secteur de l'industrie se sont élevées à 10,7 millions de tonnes d'éq.-CO₂, ce qui correspond à 23,6% de l'ensemble des émissions de GES de la Suisse. Sur ce total,

2,9 millions de tonnes d'éq.-CO₂ étaient imputables à l'incinération des déchets, le reste aux installations industrielles, avec une faible part due aux machines de construction et industrielles. Par ailleurs, la majeure partie des émissions de GES du secteur de l'industrie (73%) étaient générées lors de l'utilisation d'agents énergétiques fossiles.

L'efficacité énergétique et l'utilisation d'énergies issues de sources renouvelables constituent les principaux leviers de réduction des émissions de GES. Toutefois, ces approches ne fonctionnent pas pour les émissions de CO₂ liées aux procédés qui ne peuvent être évitées dans le cadre de certaines réactions chimiques, comme pour la fabrication du ciment. Il conviendra ici de procéder au captage du CO₂ directement aux grosses sources industrielles en vue de son utilisation ultérieure ou de son stockage à long terme (CCUS). En raison des contraintes élevées liées au captage du CO₂ et aux capacités limitées de stockage, ces procédés techniques doivent cependant être réservés aux émissions de GES difficiles à éviter. Et lorsqu'il n'est pas adapté d'y recourir, les technologies à émissions négatives naturelles restent la dernière option pour compenser les émissions de GES résiduelles.

Économie circulaire

Le principe de l'économie circulaire⁵⁸ consiste à garder en circulation des produits et des matériaux dans le but de réduire autant que possible les atteintes à l'environnement et la consommation de matières premières disponibles de manière limitée. Il se base sur une hiérarchie de dix principes, les «10 RE»: «*Refuse – Rethink – Reduce*» (refuser, repenser, réduire) pour accroître l'efficacité de la conception et de la fabrication des produits, «*Reuse – Repair – Refurbish – Remanufacture – Repurpose*» (réutiliser, réparer, rénover, remise en état, réutilisation) pour prolonger la durée de vie et l'utilisation des produits, et «*Recycle – Recover*» (recycler, récupérer) pour une revalorisation matière et énergétique à la fin de la durée de vie des produits.

La règle de base est la suivante: les mesures permettant d'augmenter l'efficacité des ressources ont également un effet positif sur l'efficacité énergétique, car des quantités moins importantes de matériaux doivent être transformées, transportées et stockées. Pour pouvoir fermer le cycle des matières, il est essentiel que les coûts liés au recyclage soient inférieurs à ceux liés à la production à partir de matériaux neufs. L'utilisation d'énergies renouvelables s'inscrit également dans la démarche de l'économie circulaire. L'énergie doit être utilisée de manière aussi efficace et économe que possible, car la fourniture d'énergies renouvelables consomme, elle aussi, des ressources naturelles. Il en est de même pour la mise à disposition de matières premières renouvelables ou de CO₂ issu des installations de captage. Pour finir, des écobilans complets sont indispensables pour pouvoir identifier les options les plus avantageuses en matière de conception de produit, de fabrication, d'utilisation et de gestion des déchets.

56 – <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/65875.pdf>

57 – <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/climat/etat/donnees/inventaire-gaz-effet-serre.html>

58 – <https://circular-economy-switzerland.ch/wp-content/uploads/2022/11/Nachhaltige-Kreislaufwirtschaft-als-Schlussel-element-zu-Netto-Null.pdf> (en allemand)

PRIORITÉS

Les perspectives énergétiques 2050+⁵⁹ présentent des trajectoires de transformation qui doivent aboutir à l'objectif de zéro net fixé dans la Stratégie climatique à long terme de la Suisse, à partir de technologies déjà connues aujourd'hui. D'autres innovations permettront ensuite de faire progresser cette transition de manière plus rapide, plus efficace et plus acceptable socialement.

Les nouveaux produits, modèles commerciaux et marchés associés au passage à une économie circulaire respectueuse du climat offriront à l'industrie des opportunités prometteuses. Le succès des producteurs dépend d'un approvisionnement énergétique sûr et de chaînes d'approvisionnement résilientes. Les cycles de planification longs et les coûts d'investissement élevés en vigueur dans l'industrie imposent des conditions-cadres stables et prévisibles. Les priorités de la recherche portant sur les décisions prises au niveau des entreprises, sur la structure de conditions-cadres adaptées à l'innovation et aux investissements, et sur les effets de mesures de politique énergétique et climatique sur la compétitivité sont formulées dans le chapitre «[Économie, société et mesures politiques](#)», tandis que les paragraphes ci-dessous se concentrent sur les innovations technologiques. L'ordre des paragraphes reflète la hiérarchie des mesures: l'efficacité prévaut sur la substitution qui prévaut sur les NET.

Efficacité

En raison de ses principes de consommation économe et de biens à longue durée de vie, l'économie circulaire offre de multiples avantages: économies d'énergie et de matériaux, coûts d'exploitation réduits, réduction de l'atteinte à l'environnement. Par ailleurs, elle peut être mise en œuvre à tous les niveaux des systèmes industriels: au niveau des installations, des appareils et de leurs composants, mais aussi des étapes de processus, des lignes de production, des sites et des chaînes

d'approvisionnement. À ce jour, le potentiel en termes d'efficacité pour les processus industriels est loin d'être épuisé. Les travaux de recherche portent sur des innovations disruptives pour les nouveaux processus ainsi que sur des solutions de modernisation des processus actuels qui soient pragmatiques et facilement réalisables.

Substitution

Une fois les augmentations de l'efficacité atteintes, le besoin résiduel en énergie devra être couvert par des sources renouvelables. Des entreprises industrielles équipées, par exemple, d'installations photovoltaïques, solaires thermiques, de géo-énergie ou de bioénergie avec couplage chaleur-force, sur leur propre terrain, pourraient apporter ici une contribution directe. Par ailleurs, l'électrification de la production de chaleur et de froid au moyen de pompes à chaleur permet de fournir de la chaleur industrielle pouvant atteindre jusqu'à 2000C à partir de rejets de chaleur et de la chaleur ambiante. À ce jour, les expériences avec une intégration de sources de chaleur renouvelables fluctuantes dans les processus de production sont néanmoins peu nombreuses. En outre, les restrictions à venir dans le cadre de l'utilisation de fluides frigorigènes synthétiques imposent de trouver de nouvelles solutions. Afin de continuer à élargir le domaine d'utilisation des sources de chaleur renouvelables, des technologies innovantes de stockage de l'énergie et des procédés alternatifs à des niveaux de température inférieurs sont recherchés.

Les combustibles non fossiles issus de la biomasse ou de gaz synthétiques sont rares et donc précieux. Ils doivent être utilisés de manière très ciblée là où des alternatives pratiques font défaut. Dans le secteur industriel, ils doivent être réservés aux processus à haute température qui se prêtent difficilement à une électrification. Des efforts d'innovation encore importants devront être déployés pour pouvoir améliorer la durabilité, la rentabilité et la disponibilité de ces agents énergétiques chimiques, afin qu'ils puissent remplacer, à l'échelle industrielle, les agents fossiles en tant que carburants et produits de base.

Le captage du CO₂ directement sur le site industriel offre la possibilité, selon l'origine fossile, géogène ou biogène des molécules de CO₂, de réduire les émissions de GES dans l'atmosphère, voire de produire des émissions négatives. Les procédés de captage à la source ou dans l'atmosphère établis à ce jour représentent toutefois une consommation énergétique et une charge financière élevées. Des améliorations significatives dans ce domaine permettraient de réduire les émissions de GES de l'ensemble du système énergétique.

Le développement de nouvelles molécules à partir du CO₂ capté n'étant pas satisfaisant sur le plan thermodynamique, des innovations disruptives sont nécessaires, afin d'accroître le rendement et la productivité de ces transformations jusqu'à ce qu'elles deviennent rentables. Des innovations doivent également voir le jour pour les autres processus CCU tels que la minéralisation accélérée (carbonisation) de matériaux de construction, afin d'accroître la compétitivité de ces produits vis-à-vis de produits conventionnels possédant une empreinte carbone plus élevée. La pression concurrentielle en termes de qualité, de prix et de durabilité est tout aussi forte pour les matériaux biosourcés et les matières premières secondaires issues du recyclage.

Flexibilité

La substitution d'agents énergétiques ou de matériaux s'accompagne systématiquement d'une restructuration des chaînes d'approvisionnement. Pour que le fonctionnement des processus industriels puisse continuer à être garanti également dans un contexte d'économie circulaire utilisant des énergies renouvelables et des matières premières secondaires issues d'installations plus petites et décentralisées, il faut que les nouvelles chaînes d'approvisionnement puissent fonctionner avec un approvisionnement énergétique variable et une qualité fluctuante des matières utilisées. Cela pose des défis non seulement en termes de logistique et d'approvisionnement, mais aussi de développement technologique

des installations industrielles et des infrastructures.

Le chapitre «[Systèmes énergétiques](#)» présente des solutions qui reposent sur un couplage des secteurs. Dans l'industrie, le couplage de l'électricité, de la chaleur et du froid est notamment nécessaire. Dans ces domaines, des processus industriels peuvent intervenir en tant que consommateurs et en tant que producteurs. Pour que ces «prosommateurs» puissent cumuler les deux rôles et être au service du système, d'importantes solutions de stockage possédant une capacité de chargement et de déchargement élevée ainsi que des concepts intelligents de pilotage de la consommation énergétique industrielle sont nécessaires, la sécurité de la production devant être garantie en parallèle. Une marge de manœuvre supplémentaire dans l'équilibre entre production, consommation et stockage apparaît lorsque les agents énergétiques chimiques (par exemple hydrogène H₂, méthane CH₄, méthanol CH₃OH, ammoniac NH₃) font également office de produits de base pour les branches industrielles chimiques et pharmaceutiques, importantes en Suisse.

Intégration

L'intégration intelligente de processus industriels peut générer des synergies à tous les niveaux du système énergétique. Dans un même temps, la complexité supplémentaire liée à l'intégration pose aussi de nouveaux défis. Des modèles, analyses, simulations et scénarios à tous les niveaux du système doivent permettre de clarifier les interdépendances et mieux mettre en évidence les synergies et les risques.

L'intégration des processus vise un échange économiquement raisonnable et une utilisation en cascade des flux de matières ou d'énergie. Elle constitue donc une condition essentielle de l'économie circulaire. La recherche devrait dès lors jeter les bases scientifiques des technologies et instruments qui seront nécessaires pour développer, gérer et exploiter des systèmes industriels très intégrés. Il est important ici de conserver une

vision d'ensemble, afin d'éviter, notamment, de planifier plusieurs fois des ressources limitées et convoitées telles que la biomasse indigène ou encore les excédents temporaires de production photovoltaïque.

Des concepts de symbiose au niveau des sites industriels créeront des synergies en mettant en réseau des processus, en couplant la gestion des matériaux et des déchets et en utilisant localement des sources d'énergie renouvelables. Les bioraffineries destinées à la production conjointe de matériaux, de carburants et de combustibles, de chaleur, d'électricité et d'émissions négatives illustrent parfaitement cette approche. L'accès au CCUS et aux infrastructures multi-énergies déterminera de manière importante si et dans quelle mesure cette symbiose peut être étendue aux pôles industriels. Il pourrait donc être pertinent de développer des modèles de symbiose industriels qui puissent être utilisés aussi pour la planification de nouvelles infrastructures telles que des réseaux et des solutions de stockage du CO₂, de l'hydrogène et d'autres agents énergétiques chimiques.

En raison des longs cycles d'investissement en vigueur dans l'industrie, une planification prudente s'impose. Les modèles et scénarios allant du niveau du système énergétique global à celui des processus industriels individuels peuvent représenter de précieuses aides à la décision pour les entreprises et les acteurs de leur environnement. La numérisation offre ici de réelles opportunités de pouvoir baser la planification, la surveillance, le pilotage et l'optimisation des chaînes industrielles de création de valeur sur des données. Plus ces méthodes seront intégrées tôt dans les processus d'innovation, plus les développements techniques pourront être orientés de manière ciblée sur des critères de performance et sur tous les aspects de la durabilité.

59 – <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/politique/perspectives-energetiques-2050-plus.html>

SUJETS DE RECHERCHE PRIORITAIRES 2025–2028

Matériaux et produits en circuit fermé

- Matériaux et produits conçus pour avoir une durée de vie étendue et pour intégrer la gestion de la fin de vie;
- Processus efficaces pour traiter ou reconditionner les produits, recycler les matériaux et traiter les déchets résiduels à une échelle appropriée;
- Remplacement des matières premières fossiles par des biomatériaux ou des matériaux recyclés;
- Processus durables pour capter et valoriser le CO₂ (CCU) et fermer ainsi le cycle du carbone;
- Approches pour la gestion de l'équipement et des produits conformément aux principes de l'économie circulaire;
- Obstacles à l'introduction de produits économes en ressources et opportunités en la matière.

Processus de production innovants, optimisés

- Intensification des processus pour une utilisation plus efficace de l'énergie et des autres ressources;
- Procédures avancées de séparation présentant des rendements et sélectivités élevés et consommant peu d'énergie;
- Électrification de la chaleur industrielle, spécialement au moyen de pompes à chaleur à haute température flexibles utilisant des réfrigérants naturels;
- Conception de processus flexibles pour tenir compte de la variabilité et de l'hétérogénéité des intrants matériels issus de l'économie circulaire;
- Solutions pragmatiques pour moderniser les installations de production, les appareils et les composants, afin d'améliorer l'efficacité énergétique et de prolonger la durée de vie;
- Intégration de sources fluctuantes d'énergie renouvelable avec stockage au niveau des processus et du site;
- Monitoring, contrôle et optimisation pour rendre les processus hautement intégrés efficaces, flexibles et résilients;
- Solutions pour surmonter les obstacles persistants à la planification et aux opérations de production optimisées sur le plan énergétique

Perspectives des systèmes au niveau de la planification et du développement

- Symbiose industrielle pour réduire et flexibiliser la demande d'énergie et créer des possibilités commerciales grâce à un échange local de chaleur, d'électricité, de matériaux ou d'appareils;
- Intégration de méthodes prédictives d'analyse du cycle de vie dans la conception des produits et le développement de processus pour promouvoir l'efficacité énergétique et des ressources durant tout le cycle de vie des produits;
- Modèles de processus génériques et installations de production virtuelles en vue d'une analyse globale des scénarios au début des phases de développement et de planification;
- Méthodes d'optimisation multicritères pour accélérer l'élaboration de processus plus performants concernant tous les aspects de la durabilité;
- Méthodes scientifiques de conception et d'optimisation permettant d'évaluer la performance des réseaux de procédés intégrés au niveau d'un site et de la chaîne d'approvisionnement;
- Outils pratiques pour développer et comparer les trajectoires de transformation vers l'objectif de zéro net au niveau des installations et du site.

PRINCIPES RÉGISSANT LA RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE

Dans le domaine de l'énergie, il convient en premier lieu d'encourager la recherche appliquée. La priorité doit être donnée aux domaines de recherche qui créent une importante valeur ajoutée pour la Suisse et laissent présager un apport durable à la sécurité de l'approvisionnement du pays. Ainsi, la recherche énergétique fournira une contribution essentielle à la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050 et de la Stratégie pour le développement durable ([voir p. 48](#)) ainsi qu'au respect des objectifs climatiques de la Suisse. Il convient également d'adopter une perspective globale dans le cadre de l'examen de questions spécifiques et de mesurer les solutions à l'aune de la contribution qu'elles apportent au système énergétique et aux objectifs précités.

Le présent plan directeur comprend également des recommandations pour la recherche énergétique qui ne sont pas en lien direct avec ces objectifs, à condition que la recherche énergétique présente une qualité élevée, soit compétitive et s'inscrive dans des réseaux internationaux. L'engagement soutenu des pouvoirs publics en faveur de la mise en réseau des établissements de recherche, de l'identification des domaines technologiques porteurs d'avenir, de l'encouragement de la collaboration scientifique internationale et de la coopération entre les hautes écoles et les milieux économiques est indispensable pour valoriser les résultats de la recherche et doit se poursuivre. Une mise en œuvre efficace et ciblée doit s'accompagner d'une réglementation favorable à l'économie pour les éléments de propriété intellectuelle développés avec des aides publiques (par exemple brevets ou licences).

Accès illimité aux publications et aux données

Les efforts fournis jusqu'à présent visant à rendre librement accessibles toutes les publications entièrement ou partiellement financées par des fonds publics doivent être renforcés. La stratégie exemplaire de libre accès mise en place par le FNS peut servir de fil conducteur aux autres organes d'encouragement, car elle garantit également l'accès aux articles parus dans des revues spécialisées. Le libre accès des chercheurs aux données est bien plus difficile à concrétiser que l'accès aux publications. En l'espèce, la CORE suggère un débat entre les organismes de collecte de données et les chercheurs pour trouver le meilleur compromis possible entre la protection nécessaire de ces dernières et leur mise à disposition souhaitable. De manière générale, la CORE recommande de soutenir la collecte de données de bonne qualité qui n'étaient pas systématiquement recensées jusqu'à présent. Les longues séries chronologiques sur plus de 30 ans revêtent une importance particulière.

Coordination entre les organes d'encouragement

Une bonne coordination entre les différents organes d'encouragement suisses permet d'accroître leur efficacité. Dans son dernier audit approfondi de la Suisse, l'AIE recommande d'améliorer ce point⁶⁰. La loi fédérale sur l'encouragement de la recherche et de l'innovation (LERI)⁶¹ prévoit d'ailleurs un échange d'informations à un stade précoce entre les organes de recherche ([voir également Acteurs et interfaces](#)). Cela est particulièrement important dans le cadre des appels d'offres planifiés.

Stratégie pour le développement durable

Dans sa Stratégie pour le développement durable 2030 (SDD 2030⁶²), le Conseil fédéral montre selon quelles priorités il entend mettre en œuvre l'Agenda 2030 pour le développement durable au cours des dix prochaines années, et a identifié trois thèmes prioritaires:

- **1. Consommation et production durables:** favoriser et rendre possibles des modes de consommation durables; assurer la prospérité et le bien-être en préservant les ressources naturelles; accélérer la transition vers des systèmes alimentaires durables en Suisse comme à l'étranger; renforcer la responsabilité des entreprises en Suisse et à l'étranger.
- **2. Climat, énergie et biodiversité:** réduire les émissions de gaz à effet de serre et maîtriser les répercussions des changements climatiques; diminuer la consommation d'énergie, utiliser l'énergie plus efficacement et développer les énergies renouvelables; conserver, utiliser de manière durable, favoriser et restaurer la diversité biologique.
- **3. Égalité des chances et cohésion sociale:** l'autonomie de chacune et chacun; assurer la cohésion sociale; assurer l'égalité effective entre les femmes et les hommes.

Les trois thèmes touchent la recherche énergétique, le deuxième de la manière la plus directe. La SDD 2030 présente plus clairement les interactions et les influences mutuelles entre les domaines climat, énergie et biodiversité, et promeut une gestion transparente des conflits d'intérêts. La recherche énergétique est en mesure d'apporter des contributions précieuses ici:

Ressources: La recherche énergétique doit miser avant tout sur la mise au point de technologies nouvelles et sur l'amélioration des connaissances permettant d'augmenter l'efficacité énergétique, l'utilisation rationnelle des ressources et un recours accru aux énergies renouvelables. Il convient de fermer autant que possible les cycles de production, d'éviter les émissions polluantes et de promouvoir l'économie circulaire.

Infrastructures énergétiques: Des analyses de la conception, des incitations requises et des obstacles possibles aux investissements dans la nouvelle infrastructure énergétique (production d'énergie uniquement d'origine renouvelable) doivent être réalisées. Développer des stratégies destinées à accroître l'attractivité de tels investissements contribuera à optimiser ces derniers sous l'angle de la durabilité.

Technique: Il convient de tirer le meilleur parti possible, sur le plan écologique, économique et social, du potentiel technique que recèle chacune des applications techniques destinées à fournir, à transformer, à stocker et à utiliser l'énergie de manière durable.

Création de valeur et économie nationale: Le plan directeur vise à améliorer et à garantir à long terme la sécurité de l'approvisionnement de la Suisse, à assurer au pays une création de valeur sous la forme d'emplois, de savoir-faire ou de nouveaux produits commercialisables, à accroître la compétitivité de la Suisse sur la scène internationale et à préserver son attrait en tant que partenaire de collaboration.

Société: Des questions se posent à propos des besoins de la société et des mesures politiques qui permettent une mutation du secteur de l'énergie. Pour ce faire, on étudiera la fourniture, la transformation, le stockage et l'utilisation de l'énergie dans leurs aspects sociologiques, psychologiques et sous l'angle des sciences politiques notamment. Enfin, la recherche énergétique doit contribuer à faire comprendre que les mesures techniques ne suffisent pas, à elles seules, à mettre en œuvre une politique énergétique nationale ou une politique climatique mondiale. Des changements de comportement sont indispensables pour une utilisation durable de l'énergie.

60 – <https://www.iea.org/reports/switzerland-2023>

61 – RS 420.1 - Loi fédérale du 14 décembre 2012 sur l'encouragement de la recherche et de l'innovation (LERI) (admin.ch)

62 – www.eda.admin.ch/agenda2030/fr/home/strategie/strategie-nachhaltige-entwicklung.html

MISE EN ŒUVRE PAR L'OFEN

PROGRAMMES DE RECHERCHE

Les programmes de recherche énergétique de l'OFEN sont répartis en trois domaines: «Efficacité énergétique», «Énergies renouvelables» et «Société et économie». Pour encourager les projets de recherche, l'OFEN dispose également du programme pilote et de démonstration et du programme d'encouragement SWEET ([voir p. 52](#)). L'encouragement de l'OFEN est conforme aux «Principes régissant la recherche énergétique» ainsi qu'à la Directive pour le dépôt et l'évaluation de requêtes d'aide financière aux projets de recherche énergétique, pilotes et de démonstration et d'autorisation de projets *sandbox*⁶³.

«Efficacité énergétique»

- Bâtiments et villes
- Mobilité
- Technologies électriques
- Réseaux
- Pompes à chaleur et technologies du froid
- Systèmes énergétiques à combustion
- Piles à combustible
- Processus industriels
- Batteries

«Énergies renouvelables»

- Chaleur solaire et stockage de la chaleur
- Photovoltaïque
- Énergie solaire à haute température
- Hydrogène
- Bioénergie
- Force hydraulique
- Géo-énergie
- Énergie éolienne
- Sécurité des barrages

«Société et économie»

- Énergie – économie – société (EES)

Des informations détaillées sur les différents programmes de recherche et sur leurs priorités conformément au présent plan directeur sont disponibles sur le site Internet de l'OFEN. Les coordonnées des personnes de contact y sont également indiquées.

Les critères de l'encouragement sont précisés dans la directive d'exécution, à la page www.recherche-et-cleantech.ch

63 – <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/recherche-et-cleantech/programmes-de-recherche.html>

Projets pilotes et de démonstration

La mise à l'épreuve des innovations sous conditions réelles à l'aide de projets pilotes et de démonstration (P+D), mais aussi d'études de terrain est indispensable pour les faire passer avec succès du laboratoire au marché et obtenir des informations sur leur faisabilité, leur fonctionnalité technique, leur applicabilité ou encore sur leur viabilité économique. Les développements techniques particulièrement longs et coûteux dans le secteur de l'énergie limitent les apports financiers du secteur privé guidé par des critères de rendements stricts lors de cette étape cruciale et de nombreuses technologies s'y enlisent. Le programme P+D pallie cette lacune au travers de son soutien subsidiaire qui facilite la prise de décision d'investissement du secteur privé.

Le programme couvre l'ensemble des technologies de l'énergie: utilisation des énergies renouvelables, augmentation de l'efficacité énergétique, développement des technologies de stockage ou optimisation des réseaux nationaux de transport électrique. Les projets P+D se caractérisent par un contenu innovant substantiel et par un potentiel énergétique et économique élevé.

Sandbox

Désormais, l'OFEN peut mener des travaux de recherche dans le cadre de projets sandbox: l'objectif est d'autoriser la mise en œuvre de projets s'écartant partiellement du cadre légal de la loi en vigueur (limitation spatiale et temporelle). Seules des dérogations aux art. 6, 8 et 10 à 20a LApEl entrent en ligne de compte lors de l'autorisation de projets sandbox. Les requêtes de projets sandbox peuvent être remises à l'OFEN au moyen du formulaire habituel qui a été élargi à cet effet. Suite à une évaluation positive, le

cadre de la sandbox est réglé dans une ordonnance ad hoc. Aucun soutien financier n'est a priori lié à l'autorisation. Si un tel soutien est nécessaire pour la mise en œuvre du projet sandbox, celui-ci peut également être demandé au moyen d'un instrument d'encouragement existant.

SWEET/ER

SWEET – «*SWiss Energy research for the Energy Transition*» – vise à promouvoir les innovations nécessaires à la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050 et à la réalisation des objectifs climatiques de la Suisse. Pour l'essentiel, SWEET se conforme aux règles existantes de la recherche de l'administration fédérale. Tandis que les programmes de recherche conduits par l'OFEN couvrent l'éventail complet de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables, SWEET encourage exclusivement les projets de consortium mis en concurrence dans le cadre d'appels d'offres visant des thèmes de recherche sélectionnés. La préférence va à des coopérations entre différents types de haute école, le savoir académique, les établissements de recherche, l'économie privée, les pouvoirs publics et les entreprises liées à la Confédération (CFF, Poste, etc.). Ce choix encourage les consortiums interdisciplinaires et transdisciplinaires. La recherche énergétique relevant des sciences humaines et sociales reçoit une attention particulière.

En juin 2023, le Conseil fédéral a ouvert la consultation sur un crédit d'engagement supplémentaire pour l'instrument d'encouragement de la recherche SWEET. L'objectif est d'élargir la couverture de cet instrument, qui s'appellerait désormais SWEETER (pour *SWiss research for the EnErgy Transition and Emissions Reduction*), et d'intensifier la collaboration avec l'Office fédéral de l'environnement.

L'élargissement vers l'instrument SWEETER devrait permettre de fournir rapidement des réponses ciblées aux questions à la fois nouvelles et urgentes qui se posent en lien avec la sécurité de l'approvisionnement en énergie de la Suisse. Il s'agit notamment de questions concernant l'alternance été-hiver (et donc le stockage de l'énergie d'une saison à l'autre) et la décarbonation de l'économie. Un crédit d'engagement supplémentaire de 135 millions de francs assurera le financement pour les années 2025 à 2036. Grâce à ce crédit d'engagement supplémentaire, il devrait être possible de financer huit autres appels d'offres, sur des thèmes tels que le stockage et les réseaux énergétiques, la production d'énergie et son stockage dans le sous-sol, l'aménagement du territoire, la numérisation et les réseaux intelligents, les marchés locaux de l'énergie et la convergence des réseaux, l'économie circulaire et les processus industriels, les villes intelligentes ou encore les innovations sociales. La consultation s'est terminée en septembre 2023. Le projet devrait être transmis au Parlement au printemps 2024.

Des informations actualisées et complémentaires sont disponibles à la page www.bfe.admin.ch/sweet.

Recherche dans le domaine de l'énergie nucléaire

La question des spécialistes de l'énergie nucléaire doit faire l'objet d'une attention particulière. La Suisse a besoin d'une relève non seulement pour la durée d'exploitation restante de ses centrales nucléaires, mais également pour les phases de post-exploitation et de démantèlement ainsi que pour le stockage prévu des éléments radioactifs – qui se poursuivront largement dans le siècle à venir. Il est en outre nécessaire de conser-

ver des compétences spécifiques afin de pouvoir évaluer les développements dans le domaine de la technique nucléaire. Si l'on veut former ces spécialistes et bénéficier de leurs compétences sur le long terme, il importe de continuer à mener et à encourager la recherche correspondante dans le domaine du nucléaire. Toutefois, l'OFEN ne conduit pas de programme de recherche propre dans le domaine de l'énergie nucléaire, mais il soutient ponctuellement les activités de recherche qui servent les coopérations dans le domaine de la sécurité nucléaire et la conservation des compétences (par exemple AIEA ou OCDE), ainsi que le monitoring des technologies nucléaires avancées développées à l'étranger. L'Institut Paul Scherrer (PSI) et l'EPFZ mènent les activités de recherche concernant la fission nucléaire, l'EPFL se charge du domaine de la fusion nucléaire et l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) est responsable de la recherche dans le domaine de la sécurité nucléaire. Des informations relatives aux travaux de recherche correspondants sont disponibles auprès des entités compétentes:

- Fusion: EPFL, Swiss Plasma Center (SPC), www.epfl.ch/research/domains/swiss-plasma-center/
- Technique nucléaire et sécurité nucléaire:
 - » Institut Paul-Scherrer (PSI) www.psi.ch/nes
 - » EPF de Zurich, «nuclear engineering»
- Recherche dans le domaine de la sécurité nucléaire: Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) <https://www.ensi.ch/fr/recherche-sur-la-securite/>

FINANCEMENT

FONDS PUBLICS ALLOUÉS À LA RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE

Les moyens publics alloués à la recherche énergétique ont augmenté de manière continue entre 2005 et 2020, comme le montre la figure 2. On constate une augmentation sensible surtout depuis 2014, dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050 et du plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée». La mise en place et le fonctionnement des centres de compétence nationaux dans le domaine de la recherche énergétique (SCCER) par Innosuisse, les nouveaux programmes de recherche nationaux dans le domaine de l'énergie (PRN 70 et 71, PRN Énergie) du FNS, et le développement ciblé de projets pilotes et de démonstration ainsi que de projets phares de l'OFEN ont particulièrement

contribué à cette évolution. En 2021, les dépenses des pouvoirs publics se sont établies autour de 365 millions de francs (2020: près de 432 millions) en valeur réelle. Ce recul par rapport aux années précédentes s'explique par l'achèvement du programme d'encouragement Énergie (SCCER), puisque le domaine des EPF et Innosuisse ont ainsi moins participé à la recherche énergétique suisse; le PRN Énergie est arrivé à son terme en 2020. Étant donné que le programme d'encouragement SWEET et les appels à projets Flagship concernant le domaine de l'énergie sont moins bien dotés que le programme d'encouragement Énergie, il est probable que le recul ne soit pas entièrement compensé à l'avenir non plus.

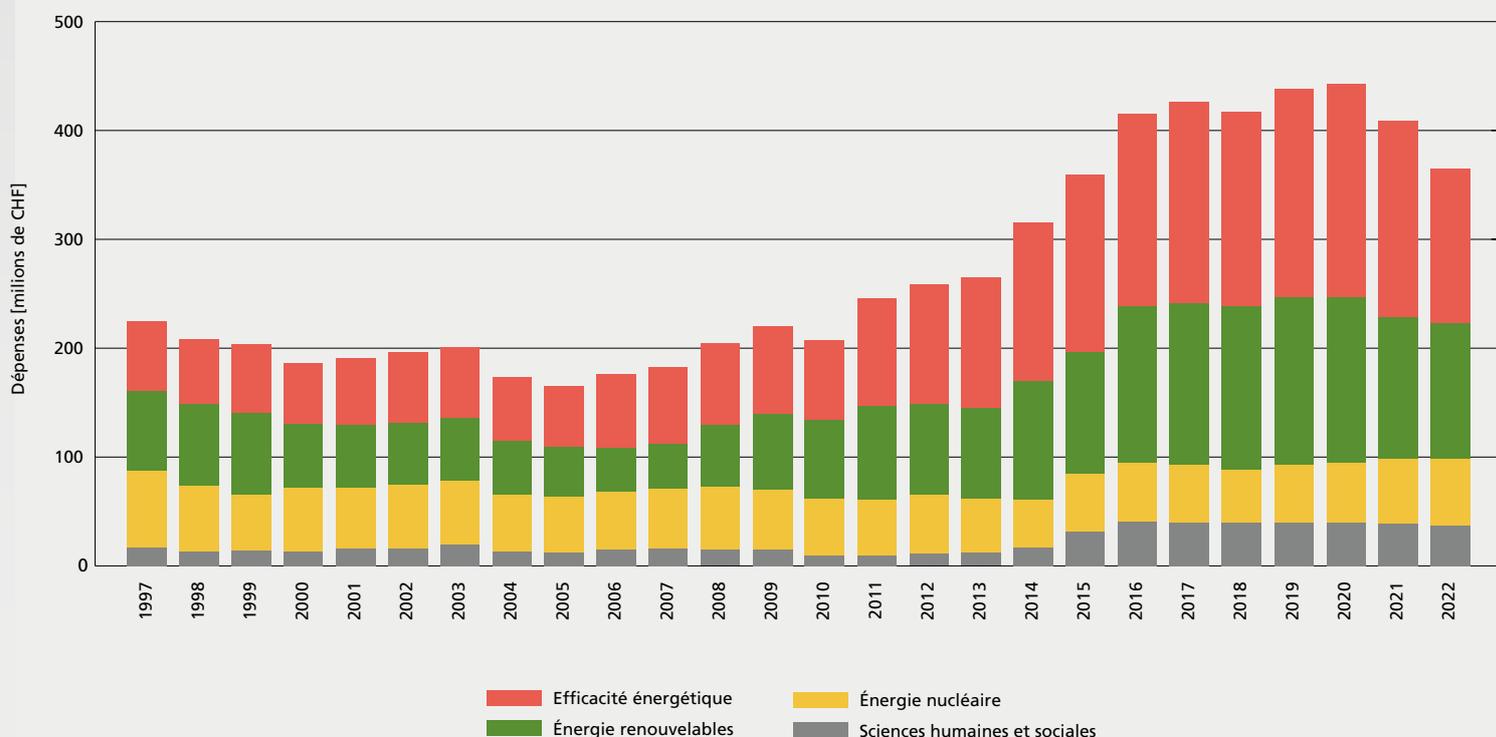


Figure 2: Évolution du soutien accordé par les pouvoirs publics à la recherche énergétique (source: OFEN, avec correction du renchérissement)

LES MOYENS À LA DISPOSITION DE L'OFEN

Ressources planifiées pour la période 2025 à 2028

Le tableau 1 présente les budgets prévus pour les projets de recherche, pour les projets pilotes et de démonstration de l'OFEN ainsi que pour le programme d'encouragement SWEET durant la période 2025 à 2028.

Ces données sont des hypothèses et non des montants inscrits au budget. Chaque budget annuel doit être approuvé par les Chambres fédérales.

	2025	2026	2027	2028**
Projets pilotes et de démonstration	22'884'400	23'344'200	23'571'500	
Programmes de recherche	17'752'400	17'744'900	18'076'300	
Programme d'encouragement SWEET	17'784'000	19'760'000	19'760'000	
Coordination*	2'644'000	2'634'000	2'689'000	
Total	61'064'800	63'483'100	64'096'800	

Tableau 1: Budgets planifiés par l'OFEN pour la période 2025 à 2027

Base: plan financier 2025 à 2028. Chaque budget annuel doit être approuvé par les Chambres fédérales.

* Y compris la conduite externe des programmes de recherche et des spécialistes SWEET

** Aucun budget planifié n'est disponible pour l'heure.

Ressources utilisées au cours de la période 2021 à 2024

Le tableau 2 présente les budgets utilisés pour les projets de recherche, pour les projets pilotes et de démonstration de l'OFEN ainsi que pour le programme d'encouragement SWEET durant la période 2021 à 2024. Les montants pour les années 2021 et 2022 sont des «valeurs réelles»; le budget estimé

pour l'année 2024 doit encore être approuvé par les Chambres fédérales.

Les données pour les années 2023 et 2024 sont des hypothèses et non des montants inscrits au budget. Chaque budget annuel doit être approuvé par les Chambres fédérales.

	2021	2022	2023	2024
Projets pilotes et de démonstration	13'253'035	14'109'547	20'272'400	17'500'000
Programmes de recherche	25'491'054	17'757'400	17'783'800	17'916'000
Programme d'encouragement SWEET	9'940'000	7'783'810	13'832'000	13'832'000
Coordination*	2'087'879	2'028'379	2'444'000	2'178'500
Total	50'771'968	41'679'136	54'332'200	55'035'600

Tableau 2: Budgets utilisés par l'OFEN en 2021 et 2022, montants inscrits au budget pour l'année 2023 et budget estimé pour 2024.

* Y compris la conduite externe des programmes de recherche et des spécialistes SWEET

ACTEURS ET INTERFACES

Le large spectre couvert par la recherche énergétique se traduit par de nombreuses interfaces thématiques et organisationnelles. L'une des tâches essentielles de l'OFEN est de mettre les acteurs nationaux de la Suisse en réseau les uns avec les autres et avec la communauté internationale des chercheurs. Pour ce faire, l'OFEN a construit au cours des dernières décennies un vaste réseau de relations qui couvre tant le domaine des hautes écoles que les institutions de recherche privées.

Tous les projets de recherche soutenus par l'OFEN sont accompagnés par les directions des programmes de recherche de l'OFEN. Un échange de connaissances intensif est ainsi garanti avec les principaux acteurs de la communauté suisse de la recherche. L'OFEN représente la Suisse dans tous les organismes de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) qui revêtent une importance pour la recherche énergétique.

ACTEURS NATIONAUX ET INTERFACES

L'illustration ci-dessous est une représentation simplifiée du paysage de la recherche énergétique suisse.

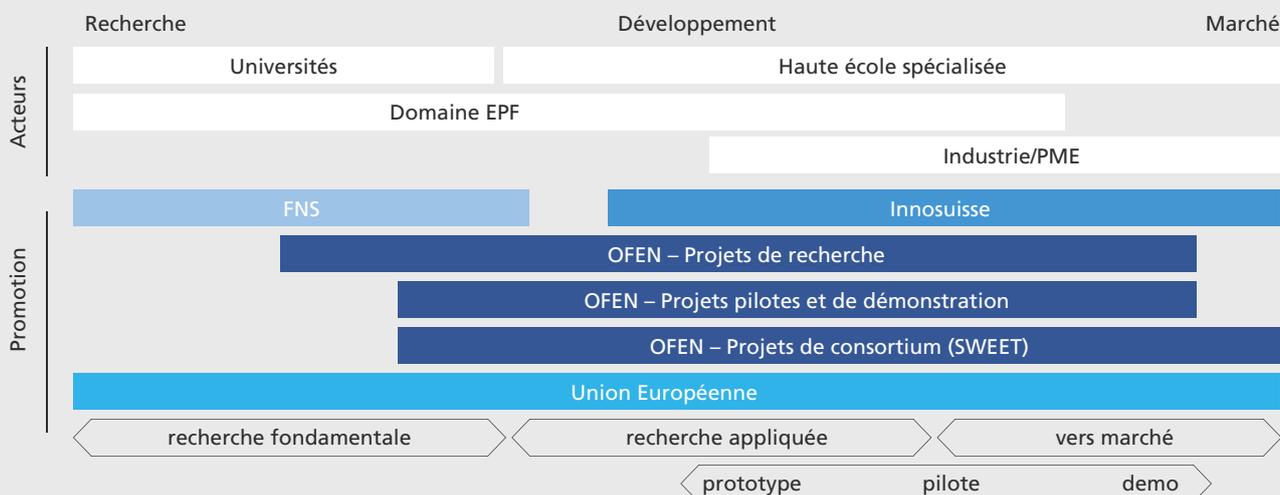


Figure 3: Des interfaces thématiques se font jour avec Innosuisse et le FNS, en particulier si ces organisations publient des appels à programmes ou à projets dans le domaine de la recherche énergétique.

S'agissant des organisations privées, les contacts couvrent aussi bien les grandes entreprises dont les activités de recherche sont importantes (par exemple ABB ou IBM) qu'une multitude de PME innovantes (par exemple Indeotec ou Awtec), ou encore les start-ups et les bureaux d'ingénieurs. S'y

ajoutent les coopérations avec des partenaires présentant un effet de levier potentiel important (par exemple La Poste, les CFF ou les entreprises d'approvisionnement en électricité telles qu'Axpo, BKW et différents services industriels municipaux).

INTERFACES AVEC LES ORGANISATIONS D'ENCOURAGEMENT DE LA RECHERCHE

La recherche énergétique de l'OFEN est étroitement interconnectée par ses programmes de recherche avec l'ensemble des instituts de recherche des hautes écoles suisses qui mènent des recherches dans le domaine de l'énergie. La carte ci-dessous

fournit un aperçu des thèmes de recherche sur l'énergie traités dans les universités suisses. Elle est reprise du rapport annuel «Recherche énergétique et innovation» (voir: www.recherche-et-cleantech.ch).

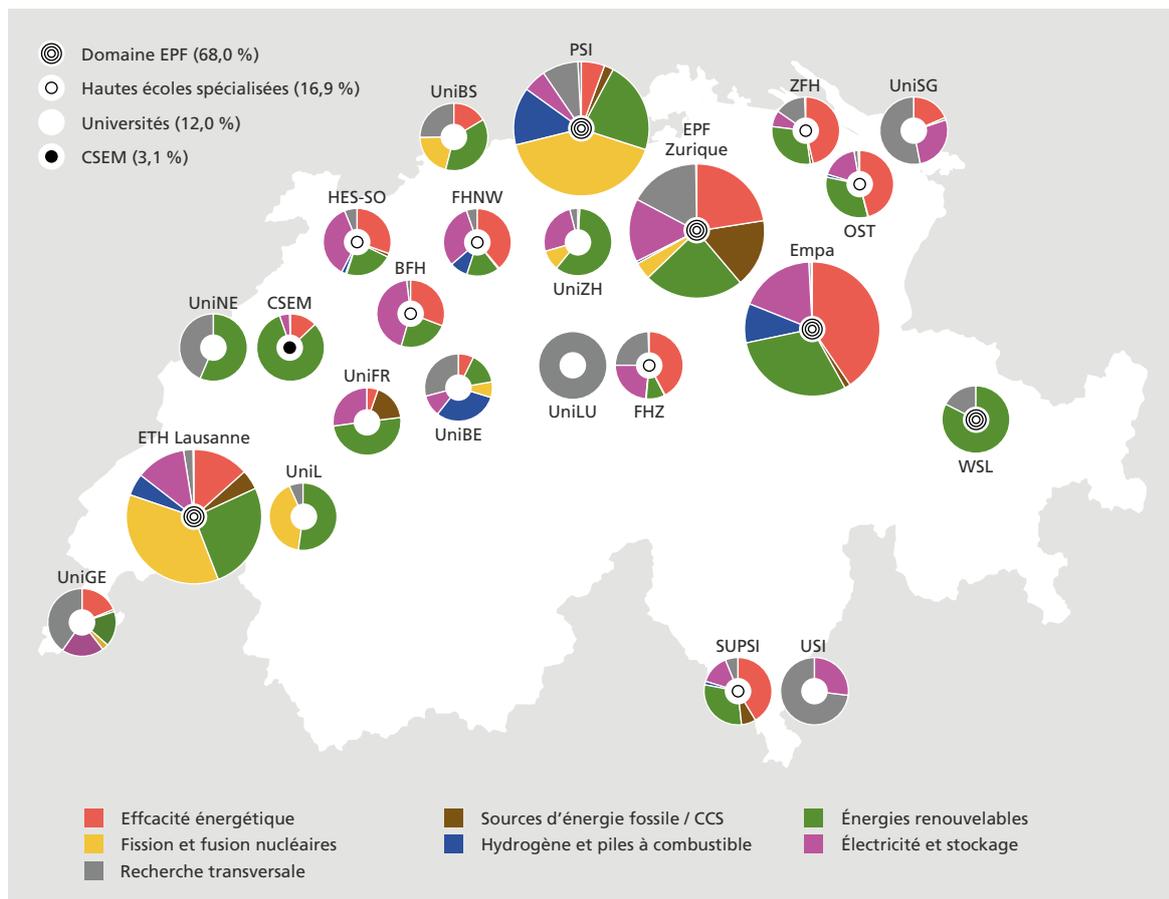


Figure 4: Différents thèmes de recherche sur l'énergie dans les universités suisses (données 2022). Les thèmes sont répartis selon la classification de l'AIE. La majeure partie de la recherche publique sur l'énergie (68% des fonds publics utilisés) a lieu dans le domaine des EPF. BFH: Haute école spécialisée bernoise, CSEM: Centre suisse d'électronique et de microtechnique, EMPA: laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche, EPFL: École polytechnique fédérale de Lausanne, ETHZ: École polytechnique fédérale de Zurich, FHGR: Haute école spécialisée des Grisons, FHNW: Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse, FHO: Haute école spécialisée de la Suisse orientale, FHZ: Haute école de Lucerne, 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 Saint-Gall, UniZH: Université de Zurich, USI: Université de la Suisse italienne, ZFH: Université des sciences appliquées de Zurich (la taille des cercles permet de distinguer le domaine des EPF des autres hautes écoles).

INTERFACES AVEC LES OFFICES FÉDÉRAUX

Le Conseil fédéral a défini quatre lignes directrices pour le programme de la législature 2023 à 2027⁶⁴: assurer et encourager la prospérité, encourager la cohésion, assurer la sécurité et prendre soin des ressources naturelles. Sur cette base, et en s'appuyant sur les nombreuses stratégies et les plans d'action correspondants de la Confédération, les services de la Confédération qui exécutent eux-mêmes de la recherche⁶⁵ ont défini des défis

communs en 2022. Ces services ont à cœur de susciter une prise de conscience sur les défis qui se posent et d'encourager la participation de l'ensemble des services intéressés.

Les thèmes transversaux tels que l'utilisation des ressources, les relations internationales, la transformation numérique ainsi que la formation et l'innovation permettent de relever les défis thématiques.

En tant que domaine de recherche transdisciplinaire et interdisciplinaire, la recherche énergétique possède des interfaces et des recoupements avec les autres domaines politiques dans de nombreux secteurs, comme par exemple:

- Climat: émissions de CO₂ des systèmes à combustion dans les secteurs des transports, du bâtiment et de l'industrie; effet du réchauffement climatique sur la production d'énergie
- Santé: poussières fines dans le cadre de la production de chaleur par combustion de bois; bruit
- Utilisation du sol: systèmes énergétiques dans les sites et les quartiers; planification des infrastructures énergétiques; mobilité
- Météorologie: optimisation des prévisions
- Environnement: bruit, débit résiduel, paysage

Le «National Centre for Climate Services» (NCCS www.nccs.admin.ch) est un exemple réussi de collaboration destinée à relever les défis de la recherche de l'administration fédérale. Il s'agit du réseau de la Confédération dédié aux services climatiques. Il est composé actuellement de neuf organes de la Confédération: l'Office fédéral de météorologie et de climatologie MétéoSuisse, l'Office fédéral de l'environnement OFEV, l'Office fédéral de l'agriculture OFAG, l'Office fédéral de la santé publique OFSP, l'Office fédéral de la protection de la population OFPP, l'Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires OSAV, l'Office fédéral de l'énergie OFEN, l'ETHZ, l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL). Cet organe national de coordination et d'innovation est une plaque tournante du savoir qui soutient les processus décisionnels respectueux du climat en vue de minimiser les risques, de maximiser les opportunités et d'optimiser les coûts.

INTÉGRATION AU PLAN INTERNATIONAL

Une recherche réussie est toujours associée à une dimension internationale: la coopération internationale augmente l'efficacité des ressources affectées tout en rendant possible un partage effectif de connaissances entre les chercheurs. La condition d'une coopération réussie, tout particulièrement dans le cadre de projets de l'AIE et de l'UE, réside dans les contributions scientifiquement reconnues et de grande qualité fournies par la Suisse. C'est pourquoi l'une des tâches principales de la recherche énergétique, outre le soutien actif apporté aux projets de recherche économiquement risqués et la suppression des lacunes dans la chaîne de l'innovation, consiste à assurer la mise en réseau nationale et internationale des chercheurs suisses.

Actuellement, la Suisse peut participer à la collaboration dans le domaine de l'énergie dans le cadre de l'Espace européen de la recherche (EER) de l'UE uniquement en tant que pays tiers non associé (des informations actualisées sont disponibles sur le site Inter-

net du Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation SEFRI⁶⁴). Dans ces conditions, elle ne peut contribuer à l'élaboration du contenu que de manière ponctuelle, mais cela n'empêche pas les chercheurs suisses de participer à la plupart des projets menés dans le cadre de l'EER. Concernant les appels à projets actuels, se reporter au paragraphe 2.4.

Par l'entremise de l'OFEN, la Suisse est intégrée dans les principaux programmes de recherche de l'AIE, au premier titre les programmes de coopération technologique (ou TCP, Technology Collaboration Programmes). La Suisse participe aux TCP essentiels pour la recherche énergétique⁶⁷.

64 – <https://www.admin.ch/gov/fr/accueil/documentation/communiqués.msg-id-92499.html>

65 – <https://www.ressortforschung.admin.ch/rsf/fr/home.html>

66 – <https://www.sbf.admin.ch/sbf/fr/home/recherche-et-innovation/cooperation-internationale-r-et-il/programmes-cadres-de-recherche-de-l-ue/espace-europeen-de-la-recherche.html>

67 – <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/recherche-et-cleantech/collaboration-internationale.html>

COMMISSIONS D'ACCOMPAGNEMENT SCIENTIFIQUE ET ASSURANCE DE LA QUALITÉ

L'OFEN couvre pratiquement l'éventail complet de la recherche énergétique. Ce faisant, il ne se borne pas à l'attribution de moyens promotionnels, mais accompagne étroitement les divers projets de recherche et représente activement les programmes de

recherche dans les organismes nationaux et internationaux. Les connaissances spécialisées nécessaires à cet effet sont soit disponibles au sein de l'OFEN soit assurées par des personnes externes (directions de programme externes mandatées).

COMMISSIONS D'ACCOMPAGNEMENT

L'OFEN est soutenu par la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE), un organisme extraparlamentaire à vocation consultative pour les questions stratégiques. La CORE remanie notamment tous les quatre ans le présent plan directeur, formule des recommandations et propose des thèmes pour le programme d'encouragement SWEET. Les diverses activités de la CORE font l'objet de rapports annuels publiés sous: www.bfe.admin.ch/core.

Les membres de la CORE sont nommés par le Conseil fédéral et représentent les principaux acteurs de la recherche énergétique suisse, par exemple l'industrie, les PME, l'économie

énergétique, le domaine des EPF, les hautes écoles spécialisées et les universités. Outre l'OFEN, l'OFEV, le SEFRI, swissuniversities, Innosuisse et le FNS y siègent en qualité d'observateurs. La liste complète et actualisée des membres de la CORE est disponible sur la page indiquée ci-dessus.

L'OFEN assume les tâches de secrétariat de la CORE. Généralement, la CORE se réunit à raison de quatre demi-journées par an et organise une retraite d'été de deux jours.

Les programmes de recherche de l'OFEN disposent, au cas par cas, de groupes d'accompagnement spécialisés.

ASSURANCE DE LA QUALITÉ

En matière d'encouragement de la recherche, l'OFEN agit selon les directives d'assurance de la qualité dans les activités de recherche de l'administration fédérale. Ces directives sont édictées par le Comité interdépartemental de coordination de la recherche de l'administration⁶⁸. Le concept de l'assurance qualité couvre essentiellement trois sous-domaines: la gestion de la recherche, les comptes rendus et l'évaluation de l'efficacité. La planification stratégique, la transparence de la procédure d'attribution, l'information sur les

projets dans la banque de données ARAMIS, la publication des résultats de la recherche et le suivi de la recherche jouent également un rôle central. Ces directives s'adressent en premier lieu aux personnes qui, dans les services fédéraux, sont directement impliquées dans les recherches menées en vue de remplir les tâches de l'administration fédérale. Les services fédéraux concernés sont tenus de les appliquer dans leurs propres concepts et directives d'assurance de la qualité.

Dans le cadre de son système de contrôle interne (SCI), l'OFEN dispose d'une procédure à trois niveaux pour attribuer les mandats de recherche: au moins deux spécialistes examinent, sur la base d'un formulaire d'évaluation de projet complété, la proposition de projet déposée quant à sa pertinence, sa contribution à la réalisation des objectifs de la recherche énergétique de l'OFEN, la qualité scientifique de la démarche et les compétences de l'équipe de chercheurs. Les aspects concernant les finances et les procédures d'appels d'offres font l'objet d'un contrôle au sein de la section des finances et le supérieur hiérarchique spécialisé effectue un dernier examen clôturé par une double signature.

Gestion de la recherche

L'évaluation des propositions de projet dans le domaine de la recherche et du développement (R+D) passe par les directions des programmes de recherche, qui doivent s'associer au minimum à un spécialiste supplémentaire. Les projets pilotes et de démonstration (P+D) sont évalués dans des groupes ad hoc spécialisés (avec le concours de spécialistes de l'OFEN proches du marché). Les consortiums SWEET font quant à eux l'objet d'une évaluation par un groupe de spécialistes externe.

Les demandes permettent de faire le point sur la pertinence stratégique, le potentiel de mise en œuvre et de multiplication, les critères de durabilité et les risques possibles associés à un projet planifié, et elles sont ajoutées aux contenus à proprement parler et intégrées à l'évaluation (voir demande et directive d'exécution www.recherche-et-cleantech.ch).

Rapports

Les projets de recherche de même que les projets pilotes et de démonstration bénéficiant d'un soutien de la part de l'OFEN sont enregistrés dans la banque de données de la

Confédération ARAMIS⁶⁹, accessible au public. Certains projets P+D soutenus par l'OFEN sont présentés sur la carte Cleantech de l'OFEN⁷⁰. Parallèlement, les programmes de recherche de l'OFEN organisent régulièrement des congrès et des conférences spécialisées où sont présentés et discutés les éléments observés dans le cadre des projets de recherche soutenus par l'OFEN. Enfin, l'OFEN publie chaque année les moyens alloués par les pouvoirs publics à la recherche énergétique (www.recherche-et-cleantech.ch).

Évaluation de la recherche énergétique

La CORE est chargée de prendre position quant à la recherche énergétique menée par l'OFEN. En outre, tant le programme pour les projets pilotes et de démonstration (2018) que la recherche énergétique (2019)⁷¹ ont fait l'objet d'évaluations externes entre 2017 et 2020. Le Contrôle fédéral des finances vérifie régulièrement la régularité de l'attribution des marchés.

Transfert de savoir et de technologie

L'OFEN encourage le transfert de savoir et de technologie (TST) dans le domaine de l'énergie au moyen de divers instruments et mesures:

- Création d'un service TST;
- Publication d'articles spécialisés;
- Échanges intensifs avec les acteurs chargés de la mise en œuvre et SuisseEnergie;
- Organisation de congrès et de conférences;
- Mise en place de groupes d'accompagnement.

68 – «Assurance de la qualité dans les activités de recherche de l'administration fédérale», Directives édictées le 26 mars 2014 par le Comité interdépartemental de coordination de la recherche de l'administration fédérale

69 – Le système d'information ARAMIS contient des informations sur les projets de recherche et les évaluations menés ou (co-)financés par la Confédération elle-même www.aramis.admin.ch

70 – www.bfe.admin.ch/geoinformation

71 – <https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/actualites-et-medias/evaluations.html>

IMPRESSUM

État Février 2024
Édition Commission fédérale pour la recherche énergétique CORE
Coordination Katja Maus

Rédaction, avec l'aide de la CORE

Partie générale Katja Maus
Énergie, société et mesures politiques Anne-Kathrin Faust
Systèmes énergétiques Sandra Hermle
Travail et habitat Andreas Eckmanns
Mobilité Luca Castiglioni
Processus industriels Carina Alles

Secrétariat de la CORE & Office fédéral de l'énergie

CH-3003 Berne

Tél.: + 41 58 462 39 78