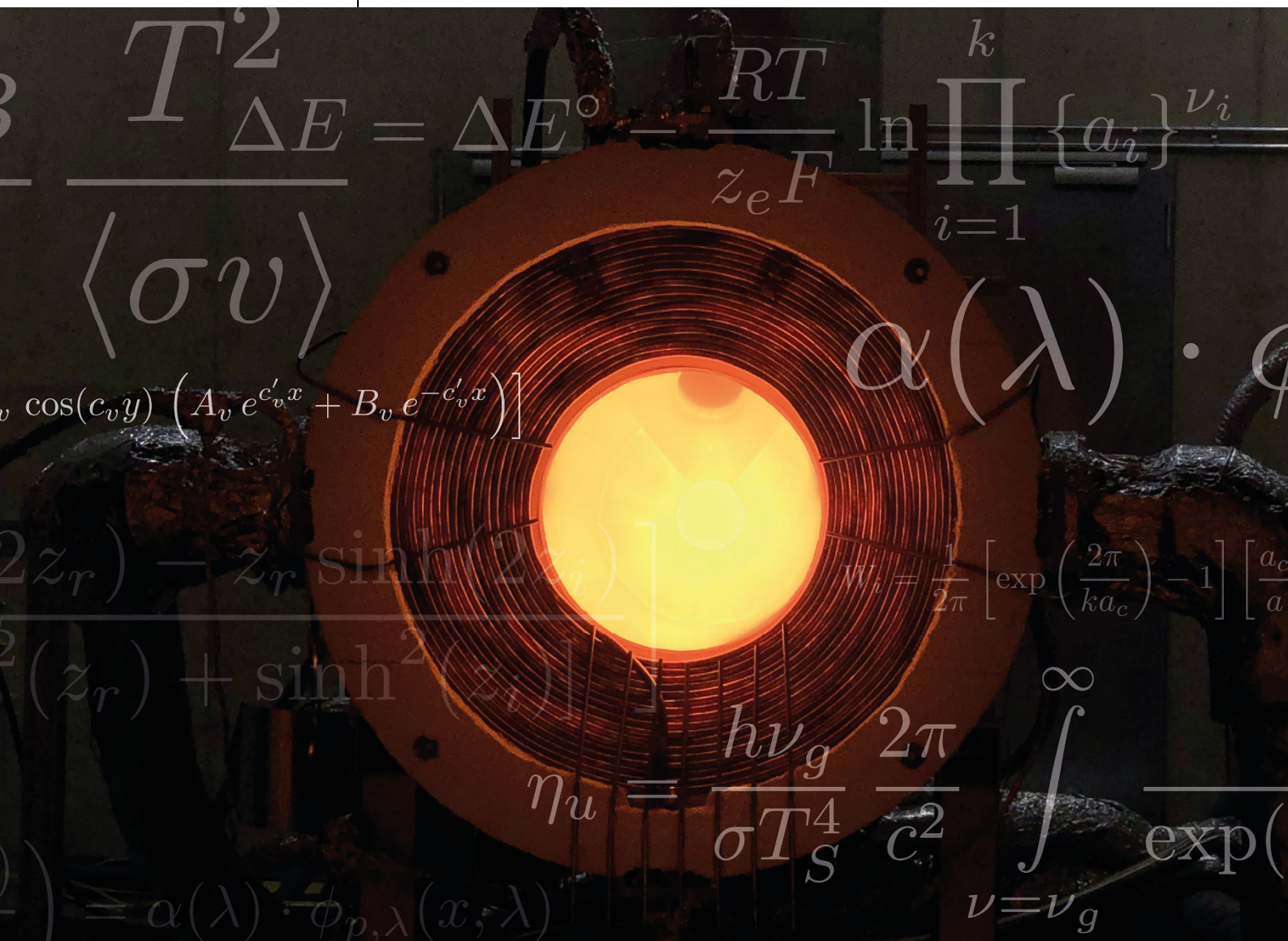




Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

Plan directeur de la recherche énergétique 2021–2024



Résumé

La décision de principe, prise en 2011 par le Conseil fédéral et le Parlement, de sortir progressivement de l'énergie nucléaire et la transformation successive du système énergétique suisse qui en découlera d'ici à 2050 confèrent un rôle particulièrement important à la recherche énergétique de la Confédération. Les programmes de recherche de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) couvrent tout l'éventail de la recherche énergétique dans les domaines de l'efficacité énergétique et de l'énergie renouvelable.

L'OFEN, une instance de soutien importante

En 2018, les pouvoirs publics ont dépensé 404 millions de francs pour la recherche énergétique. La plus grande contribution est celle du domaine des EPF (41 %), suivi par Innosuisse (13%), l'OFEN (9 %) et le Fonds national suisse de la recherche scientifique (8 %) occupant la troisième place.

Les 35,3 millions de francs alloués en 2018 par l'OFEN se répartissaient comme suit: environ 18,5 millions de francs pour des projets visant l'efficacité énergétique, quelque 16,9 millions de francs pour des projets liés aux énergies renouvelables et près de 2 million de francs pour des projets relevant des sciences humaines et sociales.

Soutien à la coopération internationale

L'une des tâches essentielles de l'OFEN consiste à intégrer les chercheurs suisses dans les activités de recherche internationales. Outre divers accords multilatéraux et les instruments de soutien de la Commission européenne, il s'agit surtout des programmes de recherche de l'Agence internationale de l'énergie (AIE).

Ces programmes de recherche, les programmes de coopération technologique («Technology Collaboration Programmes», TCP), sont un élément essentiel de l'encouragement de la Suisse à la recherche énergétique. En vertu de la compétence qui lui est donnée, l'Office fédéral veille à ce que les conditions-cadre nécessaires à la participation des chercheurs suisses soient réunies et il siège au sein des organismes directeurs correspondants. En outre, à titre subsidiaire, l'OFEN met à la disposition des participants aux TCP des soutiens financiers aux projets.

La recherche énergétique, un élément important de la Stratégie énergétique 2050

Lorsque sera terminé, à la fin de 2020, le développement de la capacité des pôles de compétence suisses en recherche énergétique (Swiss Competence Centers for Energy Research, SCCER), il conviendra d'orienter systématiquement les compétences des hautes écoles suisses et celles des SCCER sur les objectifs de la Stratégie énergétique 2050. À cet effet, l'OFEN dispose d'un nouveau programme d'encouragement de la recherche énergétique (SWEET) qui, basé sur des appels d'offres thématiques de projets de consortium, doit se dérouler sur 12 ans et entrera en force en 2021.

Entrée en vigueur

Le Plan directeur de la recherche énergétique 2021–2024 de l'Office fédéral de l'énergie entrera en vigueur le 1^{er} janvier 2021. Il sera publié sous forme électronique en français, allemand et en anglais.

Table des matières

1	Introduction	6
2	Aperçu de la politique énergétique	7
2.1	Orientation stratégique de la recherche énergétique.....	8
2.2	Défis.....	8
2.3	Bases légales.....	9
3	Thèmes de recherche pour 2021–2024	10
3.1	Efficacité énergétique	12
3.1.1	Batteries	12
3.1.2	Piles à combustible	13
3.1.3	Technologies électriques.....	14
3.1.4	Bâtiments et villes.....	15
3.1.5	Processus industriels	16
3.1.6	Mobilité.....	17
3.1.7	Réseaux.....	18
3.1.8	Systèmes énergétiques basés sur la combustion.....	19
3.1.9	Pompes à chaleur et technique du froid.....	20
3.2	Énergies renouvelables.....	21
3.2.1	Bioénergie	21
3.2.2	Géoénergie.....	22
3.2.3	Photovoltaïque	23
3.2.4	Énergie solaire à haute température	24
3.2.5	Thermie solaire et stockage de la chaleur.....	25
3.2.6	Barrages	26
3.2.7	Force hydraulique	27
3.2.8	Hydrogène.....	28
3.2.9	Énergie éolienne.....	29
3.3	Recherche dans le domaine des sciences humaines et des sciences sociales	30
3.3.1	Énergie – économie – société	30
3.3.2	Déchets radioactifs	31
3.4	Projets pilotes et de démonstration.....	32
3.5	Programme d’encouragement SWEET.....	33
4	Financement	34
4.1	Dépenses des pouvoirs publics.....	34
4.2	Ressources planifiées pour la période 2021–2024.....	35
5	Acteurs et interfaces	36
5.1	Acteurs nationaux et interfaces.....	36
5.1.1	Interfaces avec les hautes écoles	36
5.1.2	Interfaces avec les offices fédéraux	36
5.2	Coopération internationale.....	37

6	Commissions d'accompagnement scientifique et assurance de la qualité.....	39
6.1	Commissions d'accompagnement	39
6.2	Assurance de la qualité	39
6.3	Transfert de savoir et de technologie	40
	Glossaire	42

Liste des figures et des tableaux

Figure 1	La chaîne de l'innovation	7
Figure 2	Niveaux de maturité technologique (NMT) dans le domaine de l'efficacité énergétique.	10
Figure 3	Niveaux de maturité technologique (NMT) dans le domaine des énergies renouvelables	10
Figure 4	Évolution du soutien à la recherche énergétique par les pouvoirs publics	34
Figure 5	Évolution du soutien à la recherche énergétique par l'OFEN	34
Tableau 1	Budgets planifiés par l'OFEN pour la période 2021–2024	35

1 Introduction

La recherche énergétique de la Confédération revêt une importance particulière depuis la décision de principe, prise par le Conseil fédéral et le Parlement en 2011, de sortir progressivement de l'énergie nucléaire et de transformer par conséquent successivement le système énergétique de la Suisse d'ici à 2050. Les programmes nationaux de recherche (PNR) du Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS) relatifs au virage énergétique et à la gestion de la consommation énergétique, initiés en 2011 par le Conseil fédéral, se sont terminés à la fin de 2019. Le développement de la capacité des huit SCCER¹ prévus par le *plan d'action Recherche énergétique suisse coordonnée* (plan d'action) s'est achevé à la fin de 2020. Le Conseil fédéral et le Parlement ont mis à disposition des deux PNR et du développement de la capacité un montant total de 237 millions de francs pour la période 2013 à 2020.

L'OFEN a élaboré le nouveau programme d'encouragement de la recherche énergétique SWEET (Swiss Energy research for Energy Transition) afin d'affecter conséquemment les compétences et les capacités des institutions de recherche, des hautes écoles et des universités suisses à la réalisation des objectifs de la Stratégie énergétique 2050. Ce nouveau programme prévoit de conduire des appels d'offres thématiques pour des projets de consortium concernant des thèmes de recherche déterminés (chapitre 3.5).

Le présent Plan directeur de la recherche énergétique de l'OFEN couvre la période 2021–2024. Il s'inspire largement du *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2021–2024*, lequel est établi par la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE)².

L'OFEN, une instance de soutien essentielle

Pour mettre en œuvre le présent plan directeur, l'OFEN dispose de ressources promotionnelles propres, à savoir ses programmes de recherche et son programme pour les projets pilotes et de démonstration (recherche de la Confédération³). 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 de la Suisse et qu'ils soutiennent à titre subsidiaire les projets de recherche et les projets pilotes et de démonstration au service des objectifs de la Stratégie énergétique 2050.

L'OFEN établit chaque année la Statistique de la recherche énergétique de la Confédération², 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 2018, l'OFEN était, derrière l'ETH et l'Innosuisse, la troisième institution de soutien par ordre d'importance (9 %), c'est-à-dire l'une des principales instances publique de promotion (Figure 4)⁴. Une fois terminés les PNR et le développement de la capacité des 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.

¹ SCCER (Swiss Competence Centers for Energy Research): ces pôles de compétence suisses en recherche énergétique couvrent les domaines suivants: réseaux, stockage, biomasse, géothermie et force hydraulique, efficacité des bâtiments, efficacité des processus industriels, mobilité et socio-économie.

² www.recherche-energetique.ch

³ La «recherche de l'administration fédérale», parfois également appelée «recherche sectorielle» («Ressortforschung»), 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. Cf. www.ressortforschung.admin.ch

⁴ Parallèlement aux instances de soutien publiques, les hautes écoles (en particulier le domaine des EPF) fournissent la plupart des ressources promotionnelles.

2 Aperçu de la politique énergétique

La politique énergétique de la Suisse doit relever d'importants défis. Pour réaliser les objectifs fixés dans la Stratégie énergétique 2050 du Conseil fédéral, il convient de développer substantiellement les énergies renouvelables et d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments, de l'industrie, des transports et des appareils électriques. Dans son rapport de contrôle, la CORE note au sujet du plan d'action que d'importants progrès seront encore nécessaires dans la recherche au-delà de 2020 pour atteindre les objectifs fixés par la Stratégie énergétique 2050.

La recherche énergétique est axée sur le long terme

Il faut donc de nouvelles façons de penser, de nouvelles approches, de nouvelles technologies. Or, quitter les sentiers battus exige une stratégie d'encouragement qui n'assimile pas avant tout chaque franc investi dans la recherche à la réduction immédiate de kilowattheures. La recherche a besoin d'un espace de liberté qui lui permette, fondamentalement, de saisir et de tester de nouvelles idées. L'encouragement de la recherche de l'OFEN y concourt, car il soutient, outre la recherche axée sur la mise en œuvre, une recherche fondamentale orientée vers les applications. L'OFEN est, parmi les pouvoirs publics, la seule instance qui soutienne des thèmes de recherche dans le domaine énergétique par le truchement de programmes de recherche à l'échelle nationale et déployés sur de longues périodes de dix ans ou plus.

Par son nouveau programme d'encouragement SWEET, l'OFEN permet en outre des projets de consortium à long terme sur des thèmes choisis et il met à disposition des ressources pour financer la recherche sur les technologies et méthodes disruptives.

Intégration internationale

Une recherche fructueuse comporte toujours une orientation internationale: la coopération internationale augmente l'efficacité des ressources affectées tout en permettant l'échange 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 haute qualité fournies par la Suisse.

C'est pourquoi l'une des tâches principales de la recherche énergétique de l'OFEN, outre le soutien actif apporté aux projets de recherche économiquement risqués et la suppression des lacunes dans la chaîne de l'innovation (Figure 1), consiste à assurer la mise en réseau nationale et internationale des chercheurs suisses. Grâce à son vaste réseau de contacts, tissé au fil des décennies, l'OFEN recherche activement des projets prometteurs, relie les projets de recherche apparentés et soutient les chercheurs dans leur recherche de fonds de tiers.

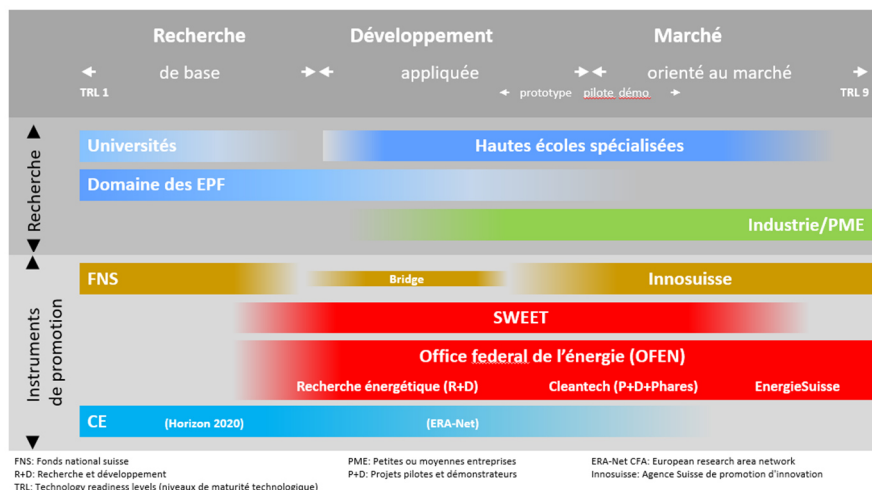


Figure 1 La chaîne de l'innovation
Le soutien à la recherche de l'OFEN s'étend de la recherche orientée vers les applications aux projets pilotes et de démonstration. (Source: OFEN)

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 (TCP). La Suisse est impliquée dans les TCP essentiels pour la recherche énergétique². L'OFEN prend

en charge les cotisations de membre, il finance la participation des chercheurs suisses aux organismes de pilotage ou de conduite des TCP et il soutient les chercheurs suisses par des contributions dans les projets de recherche mis au concours dans le cadre des TCP.

La participation aux réseaux de l'espace européen de la recherche pertinents pour les thèmes de l'énergie

(European Research Area Networks, ERA-Net) est ouverte à la Suisse sans restriction. Grâce au siège qu'il occupe au sein du plan stratégique européen pour les technologies énergétiques (plan SET) de l'UE, l'OFEN participe activement à la conception de l'ERA-Net. Il finance en outre la participation des chercheurs suisses.

2.1 Orientation stratégique de la recherche énergétique

Les tâches de l'OFEN sont axées sur la mise à disposition et la consommation durables d'énergie et sur la sécurité d'approvisionnement énergétique de la Suisse. La recherche énergétique soutenue par l'OFEN est par conséquent également axée sur ces buts et sur l'efficacité du transfert de savoir et de technologie. Le cadre scientifique en est fourni par le Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération, élaboré par la CORE². Ce plan directeur met l'accent notamment sur les relations entre la technique et l'environnement de même que sur les aspects sociétaux et économiques.

L'OFEN soutient un domaine de la chaîne d'innovation que le FNS et la CTI ne couvrent pas de la même manière (Figure 1). Contrairement à ces institutions de soutien, l'OFEN est aussi en mesure d'encourager directement les chercheurs de l'économie, notamment dans le cadre de projets pilotes et de démonstration, afin de garantir la mise en œuvre directe des résultats de recherche dans l'environnement commercial ou lorsque les connaissances de l'économie privée sont essentielles dans des projets de recherche préconcurrentiels. L'allocation de ressources fédérales à l'économie

privée suppose toutefois que les entreprises participent au financement des coûts de manière appropriée.

Ainsi, l'OFEN est en mesure de soutenir adéquatement les domaines de recherche, de la recherche orientée vers les applications à la preuve de la faisabilité économique dans un environnement réel.

Orientation stratégique de la recherche énergétique

L'encouragement de la recherche par l'OFEN se déploie sur les axes de l'efficacité énergétique, des énergies renouvelables ainsi que de thèmes relevant des sciences humaines et sociales, du stockage et des réseaux. Les programmes de recherche de l'OFEN peuvent donc se classer selon ces catégories.

La recherche sur l'énergie nucléaire est assurée par le PSI, l'EPFL et l'IFSN

L'OFEN ne conduit aucun programme de recherche dans le domaine de l'énergie nucléaire. L'Institut Paul Scherrer (PSI) mène les activités de recherche concernant la fission nucléaire l'EPFL se chargeant du domaine de la fusion nucléaire et l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) étant responsable de la recherche réglementaire en sécurité nucléaire.

2.2 Défis

La recherche énergétique de l'OFEN est axée sur les objectifs de la Stratégie énergétique 2050. Outre les objectifs technico-scientifiques et ceux relevant des sciences humaines et sociales décrits au chapitre 3, ces

objectifs comprennent la mise en relation de la recherche soutenue par l'OFEN avec tous les acteurs importants de la recherche énergétique nationale et internationale et l'accès des chercheurs suisses aux programmes de recherche de l'AIE.

Nouveau programme d'encouragement SWEET

Le développement des compétences de recherche des hautes écoles et universités suisses dans le cadre des pôles de compétence suisses en recherche énergétique (Swiss Competence Centers in Energy Research, SCCER) s'achève en 2020. Afin d'orienter les compétences et capacités ainsi développées selon la Stratégie énergétique 2050, l'OFEN a développé le nouveau programme d'encouragement de la recherche énergétique

SWEET (Swiss Energy research for Energy Transition). Ce programme, qui s'étale sur 12 ans, repose sur un budget de 52 millions de francs (2021–2024).

Le premier tour d'appel d'offres surviendra dès le début de 2021. Il sera suivi tour à tour d'autres appels d'offres les années suivantes. Le principal défi posé à l'OFEN résidera donc dans le développement organisationnel de ce programme d'encouragement et dans la conception et l'exécution des appels d'offres.

2.3 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.

La promotion de la recherche par l'OFEN repose sur la loi sur l'énergie (LEne; RS 730.0). En vertu de l'art. 49 LEne, 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 nécessaires.

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 de 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 pertinents pour les thèmes de l'énergie (ERA-Net), l'OFEN s'appuie sur la motion Riklin (10.3142), qui

demande au Conseil fédéral de permettre aux institutions de recherche suisses et à l'industrie suisse de participer à droits égaux au plan SET (plan stratégique européen pour les technologies énergétiques) lancé par la Commission européenne.

De plus, avec le nouveau programme d'encouragement SWEET (chapitre 3.5), l'OFEN prévoit des projets de recherche sur les thèmes de la sécurité et de la sûreté des installations nucléaires et des infrastructures énergétiques. À cet effet, l'OFEN s'appuie, en sa qualité d'autorité de surveillance, sur l'art. 86 de la loi sur l'énergie nucléaire (LENu; RS 732.1). En vertu de l'art. 86 LENU, 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, sous forme d'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; 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, 721.101.1), art. 29;
- loi sur l'énergie nucléaire (LENu; RS 732.1), art. 86.

3 Thèmes de recherche pour 2021–2024

Principes de l'encouragement

Les activités d'encouragement exercées par l'OFEN dans le domaine de l'efficacité énergétique visent prioritairement à accroître le degré d'efficacité, à améliorer les propriétés des systèmes (p. ex. dans le domaine des réseaux) ou à augmenter la sécurité d'approvisionnement. S'agissant des énergies renouvelables, la priorité est donnée à la réduction des coûts et à l'accroissement du rendement énergétique. Enfin, dans le domaine des sciences humaines et sociales, les thématiques prioritaires portent surtout sur les comportements des acteurs ayant une incidence énergétique, sur la conception des marchés de l'énergie et sur les effets et les modalités des mesures de politique énergétique.

La Figure 2 et la Figure 3 présentent, pour chaque programme de recherche, les niveaux de maturité technologique (NMT⁵) sur lesquels se concentre l'activité de soutien. Dans le domaine des sciences humaines et sociales, où les NMT ne sont pas directement transposables, la recherche orientée vers les applications et la recherche fondamentale sont admises.

Programmes de recherche dans le domaine de l'efficacité énergétique









Programme de recherche	NMT
 Piles à combustible	3–8
 Technologies électriques	3–8
 Bâtiments et villes	3–8
 Processus industriels	3–8
 Mobilité	4–8
 Réseaux	3–8
 Systèmes énergétiques basés sur la combustion	3–8
 Pompes à chaleur et technologie du froid	4–8

Figure 2 Niveaux de maturité technologique (NMT)

⁵ En anglais: Technology Readiness Level (TRL).

Programmes de recherche dans le domaine des énergies renouvelables







Programme de recherche	NMT
 Bioénergie	3–8
 Géoénergie	3–8
 Photovoltaïque	4–8
 Énergie solaire à haute température	2–8
 Thermie solaire et stockage de la chaleur	4–8
 Barrages	2–4
 Force hydraulique	4–8
 Hydrogène	2–8
 Énergie éolienne	3–8

Figure 3 Niveaux de maturité technologique (NMT) dans le domaine des énergies renouvelables

Le site web de la recherche énergétique de l'OFEN propose une liste de contrôle permettant d'évaluer dans quelle mesure un projet de recherche mérite d'être soutenu².

Les objectifs de recherche sont définis selon le plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération

Les programmes de recherche de l'OFEN sont regroupés en trois domaines: «Efficacité énergétique» (point 3.1), «Énergies renouvelables» (point 3.2) et «Thématiques des sciences humaines et sociales»⁶ (point 3.3). Le programme pilote et de démonstration (point 3.4) et l'instrument de soutien à la recherche SWEET (point 3.5) constituent des instruments d'encouragement supplémentaires de l'OFEN.

L'OFEN aligne étroitement son plan directeur de la recherche énergétique sur le plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération, qui décrit les objectifs concrets à moyen et à long termes. Le présent

⁶ En anglais: Social Sciences and Humanities (SSH).

plan directeur résume les thèmes de recherche importants pour l'OFEN.

Le site web de l'OFEN² contient les plans directeurs de la recherche énergétique établis par la Confédération et par l'OFEN pour la période 2021-2024 ainsi que des informations détaillées sur les programmes de recherche. Les personnes de contact sont en particulier mentionnées.

Numérisation

La numérisation constitue un thème transversal d'une portée particulière. Elle est présente dans la plupart des programmes de recherche de l'OFEN, mais souvent sous des aspects et selon des priorités différentes. C'est pourquoi ce thème n'est pas abordé dans le cadre d'un programme de recherche qui lui soit propre. Si les questions relatives à la numérisation que traite la recherche énergétique sont avant tout spécifiques à l'énergie, des solutions dépassant le cadre de l'énergie peuvent également faire l'objet d'examens et d'essais dans le cadre de projets pilotes et de démonstration.

Couplage des secteurs

La notion de «couplage des secteurs» désigne la mise en réseau de divers secteurs de consommation finale (électricité, chaleur et froid, mobilité et industrie). Il s'agit de développer des esquisses de solutions dans une perspective globale afin de concevoir plus efficacement l'ensemble du système énergétique et de permettre en particulier l'intégration d'une part plus importante (jusqu'à 100 %) de l'énergie renouvelable. L'utilisation d'électricité renouvelable dans le domaine de la mobilité électrique ou en combinaison avec des pompes à chaleur dans le secteur de la chaleur, ou la production de gaz et de carburants synthétiques («power to gas», «power to liquid») destinés à être utilisés dans les secteurs des transports, de la chaleur ou de l'industrie en fournissent des exemples. Le couplage de divers secteurs, qui flexibilise l'ensemble du système, permet de réduire sensiblement les besoins de stockage des différents secteurs (en particulier du secteur électrique). Cette approche contribue en outre à la sécurité de l'approvisionnement. Le traitement du «couplage des secteurs» comme thème de recherche

couvre les divers programmes et s'étend notamment aux projets pilotes et de démonstration. Pour les technologies déjà bien diffusés sur le marché, comme le photovoltaïque et les pompes à chaleur, les questions abordées sont plutôt des aspects systémiques et réglementaires, tandis que des thèmes techniques sont également traités dans d'autres domaines (p. ex. la conversion d'électricité en gaz ou «power to gas»).

Stockage de l'énergie

Le stockage de l'énergie représente un cas particulier de thème exempt de programme de recherche spécifique, car ses aspects partiels sont traités dans le cadre des divers programmes de recherche. Le site web de la recherche énergétique de l'OFEN permet de voir quels projets et thèmes de recherche font actuellement l'objet d'un soutien actif².

Diverses techniques – chimiques, mécaniques, électriques ou thermiques – permettent de stocker l'énergie. Selon l'environnement, on peut utiliser par exemple des accumulateurs, des ultra condensateurs, des hydrocarbures, de l'hydrogène, de la biomasse, des volants d'inertie, des ressorts, de l'air comprimé, des barrages, le sous-sol, des adsorbants ou des bobines supraconductrices. C'est pourquoi les technologies de stockage sont étudiées dans divers programmes de recherche de l'OFEN.

Recherche dans le domaine de l'énergie nucléaire

L'OFEN ne conduit pas de programme de recherche propre dans le domaine de l'énergie nucléaire. Les informations relatives aux recherches dans ce domaine sont disponibles auprès des entités compétentes:

- Fusion: EPFL, Swiss Plasma Center (SPC), www.epfl.ch
- Technique nucléaire et sécurité nucléaire: Paul-Scherrer-Institut (PSI), www.psi.ch/nes
- Recherche dans le domaine de la sécurité nucléaire: Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN), www.ensi.ch/de/kernanlagen/sicherheitsforschung.

3.1 Efficacité énergétique

3.1.1 Batteries

Contexte et problématique

Les accumulateurs jouent un rôle de plus en plus important tant dans le domaine stationnaire (énergies renouvelables) que dans la mobilité électrique. Comme la technologie revêt une grande importance pour développer les énergies renouvelables en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre, de grands efforts sont consentis dans le monde entier pour développer des batteries, si bien que les progrès sont très rapides. Le marché des cellules de batterie est aujourd'hui dominé à plus de 90 % par les fabricants asiatiques, tandis que des initiatives sont lancées depuis peu en Europe (European Battery Alliance) pour promouvoir les compétences relatives aux cellules et leur production en Europe.

Les processus de fabrication, les matériaux utilisés et le recyclage sont déterminants pour l'empreinte écologique des batteries. De même, les aspects de sécurité

et de performance sont aussi liés à des questions fondamentales concernant les matériaux.

Des acteurs suisses s'intéressent à divers thèmes de recherche concernant les batteries. Outre les batteries fonctionnant à basse température, les batteries haute température (batteries au sel) et les batteries redox à circulation font l'objet de recherches. Le développement des systèmes et l'intégration des systèmes de batterie dans des applications mobiles et stationnaires constituent d'autres champs d'activité.

L'OFEN peut, à titre subsidiaire, encourager des activités de recherche sur ces thèmes au travers d'un petit programme de recherche spécifique ainsi qu'au travers du programme pilote et démonstration.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Recherche sur les matériaux et électrochimie

- Développer le remplacement des technologies lithium-ion par des concepts tablant sur des éléments plus répandus comme le sodium, le magnésium ou l'aluminium;
- développer la technologie lithium-ion vers des batteries à électrolytes solides, afin d'accroître la sécurité et la densité énergétique de stockage.

Développement des systèmes

Intégration des systèmes et caractérisation

- Aspects environnementaux tels que la «deuxième vie» ou le recyclage.

3.1.2 Piles à combustible

Contexte et problématique

Les piles à combustible sont des convertisseurs électrochimiques qui transforment très efficacement l'énergie chimique en électricité et en chaleur. Elles se caractérisent en outre par des émissions de polluants et de bruit faibles, par un taux d'efficacité élevé en charge partielle et par un faible coût de maintenance (absence de parties mobiles).

On distingue les divers types de piles à combustible selon le genre d'électrolytes, notamment en fonction de leur température d'exploitation (piles à combustibles à haute ou à basse température). En Suisse, on se concentre principalement sur la recherche et le développement de piles à combustible à électrolyte en polymère («polymer electrolyte fuel cells», PEFC) et de piles à combustible à oxyde solide («solid oxide fuel cells», SOFC).

Les domaines d'application des piles à combustible se situent dans le domaine stationnaire (couplage chaleur-force, surtout pour les SOFC) dans les installations d'approvisionnement ininterrompu d'électricité (PEFC), dans le domaine portable (PEFC) et dans le domaine de la mobilité (véhicules à pile à combustible, PEFC).

Les coûts d'investissement relativement élevés représentent un défi, bien qu'ils aient massivement baissés au cours de la dernière décennie grâce aux grands progrès de développement réalisés et qu'ils baisseront encore à l'avenir en raison des effets d'échelle dans la production et du nombre accru des fournisseurs. Un autre défi consiste à augmenter la longévité des systèmes de pile à combustible.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Piles à combustible à oxyde solide (SOFC)

- Compréhension des phénomènes de dégradation;
- développement de matériaux pour les interconnecteurs;
- reformage interne à la vapeur;
- aspects de la fabrication.

Piles à combustible à électrolyte en polymère (PEFC)

- Modélisation et validation;
- dégradation;

- plaques bipolaires et conception des cellules;
- développement des piles;
- méthodes d'analyse non invasives.

Systemes de pile à combustible

- Compresseurs efficaces;
- intégration du système (véhicules à pile à combustible);
- analyse de performance;
- essais sur le terrain de piles à combustible.

3.1.3 Technologies électriques

Contexte et problématique

L'électricité, utilisée dans d'innombrables applications, pénètre la société moderne au quotidien, tant dans la sphère privée que dans la vie professionnelle. Elle couvre quelque 20 % des besoins totaux en énergie et revêt de ce fait une importance essentielle dans l'économie énergétique. Malgré les gains d'efficacité en cours, la croissance de la demande devrait reprendre plus rapidement en raison de la décarbonisation croissante du trafic (p. ex. électromobilité) et du domaine de la chaleur (p. ex. pompes à chaleur). C'est pourquoi une amélioration des gains d'efficacité dans la production, la distribution et l'utilisation de l'électricité est en-

core plus décisive. En outre, les technologies de stockage sont des éléments importants d'un système énergétique efficace pour équilibrer la production fluctuante sur différentes échelles de temps.

Le programme de recherche contribue à améliorer l'efficacité de manière durable et substantielle dans tous les domaines tout en explorant des technologies de stockage inédites. L'étroite coordination avec le programme de recherche Réseaux permet non seulement de compléter les travaux en cours, elle génère des effets de synergie supplémentaires qui sont exploités.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Technologies de conversion

- Gains d'efficacité de l'électronique de puissance dus à la technologie des matériaux et des systèmes; composants inédits d'électronique de puissance, p. ex. semi-conducteurs à large bande interdite («wide band gap semi-conducteurs»);
- mesures visant à accélérer l'entrée sur le marché des technologies d'électronique de puissance efficaces;
- utilisation des rejets de chaleur de moindre valeur comme moyen additionnel de production électrique;
- estimation et analyse des développements de matériaux prometteurs en vue de technologies de conversion spécifiques (p. ex. matériaux pour moteurs/générateurs magnétothermiques innovants);
- clarification de la faisabilité et du potentiel de technologies de conversion inédites; analyse du rendement et de la recherche technologique dans les cas d'amélioration prévisible de l'efficacité. Les conditions à remplir sont un potentiel énergétique conséquent et une participation substantielle de l'industrie nationale au financement des coûts.

Technologies de stockage

- Comblent des lacunes spécifiques dans la connaissance des composants critiques des systèmes de stockage à air comprimé; considérations systémiques des systèmes de stockage à air comprimé;

- examen et analyse de technologies de stockage électromécaniques inédites et durables.

Technologies de l'efficacité

- Moteurs électriques et systèmes de propulsion: analyse et soutien aux améliorations potentielles de l'efficacité, l'accent étant placé sur l'approche systémique (prise en compte du processus); améliorations de l'efficacité par le recours ciblé à des convertisseurs;
- effets énergétiques de la numérisation; concepts de numérisation novateurs visant les gains d'efficacité dans le domaine privé et l'industrie;
- problématiques comportant une incidence énergétique dans les domaines de l'Internet des objets, des compteurs intelligents, de la maison intelligente et des appareils TIC⁷ efficaces;
- minimisation de la puissance en mode veille des appareils TIC en réseau;
- utilisation de technologies et de matériaux inédits (p. ex. supraconducteurs à haute température) visant à améliorer l'efficacité. Les conditions à remplir sont un potentiel énergétique conséquent et une participation substantielle de l'industrie nationale au financement des coûts;
- échanges internationaux de connaissances sur l'efficacité énergétique grâce à la participation aux activités du TCP «Energy Efficient End Use Equipment» (4E) de l'AIE.

⁷ TIC : Technologies de l'information et de la communication

3.1.4 Bâtiments et villes

Contexte et problématique

Les bâtiments, étant responsable de 45 % de la consommation énergétique finale et de 33 % des émissions de CO₂ de la Suisse, sont au cœur de la Stratégie énergétique 2050. Les objectifs de réduction par bâtiment et pour des sites entiers, sont formulés dans «La voie SIA vers l'efficacité énergétique» et le «Concept pour l'établissement du bilan de la société à 2000

watts». Pour atteindre ces objectifs et ainsi remplir les directives de l'Accord de Paris sur le climat quant aux réductions de CO₂, le taux d'assainissement, actuellement de 1 %, doit augmenter drastiquement. L'amélioration de l'efficacité des assainissements constitue également un levier important dans la réalisation des objectifs.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Sites et quartiers

- Développement et démonstration des stratégies de durabilité telles que «Sites 2000 watts» ou «Cités et communautés intelligentes»;
- optimisation de la production combinée d'électricité, de chaleur et de froid à partir de sources d'énergie renouvelable locales (y compris : récupération), du stockage à court terme ou saisonnier, de la distribution dans les réseaux locaux en tenant en compte les besoins réels des bâtiments et ceux du réseau;
- bâtiments et sites comme fournisseurs d'énergie: flexibilité de la charge et de la production à quel prix? Rôle innovant des approches TIC;
- concepts d'adaptation des bâtiments, des sites et des villes dans le sens de la résilience au développement climatique global et aux microclimats locaux dans l'espace urbain (p. ex. effet d'îlot thermique), qui seront plus marqués à l'avenir.

Bâtiments

- Rénovation pragmatique de bâtiment: Identification et utilisation des leviers ayant l'effet le plus important en termes de demande et d'efficacité énergétique, en tenant compte de l'ensemble du cycle de vie;
- mesures et concepts non techniques visant à réduire durablement la consommation d'énergie des bâtiments anciens en contexte urbain;
- MDB-ACV⁸: rôle du MDB dans l'ACV et l'optimisation énergétique (p. ex. grâce à la gestion des infrastructures);
- potentiel et champs d'action dans le processus de la construction, afin d'accélérer la mise en œuvre de technologies et de concepts nouveaux: énergie grise,

minimisation des flux de matériaux, utilisation dans la planification et l'exploitation des données relatives à l'énergie, aux matériaux et aux bâtiments;

- conflits d'intérêts de l'enveloppe du bâtiment: concurrence entre espace de séjour, végétalisation, installations solaires, refroidissement; développement – dans le respect de l'environnement, à coûts avantageux et en économisant l'espace – de systèmes innovants, de nouvelles technologies et matériaux pour l'enveloppe transparente ou opaque du bâtiment, pour l'isolation thermique et pour le stockage de l'énergie;
- importance du refroidissement dans la perspective du climat futur: effets sur les besoins d'énergie, concepts et technologies pour un refroidissement passif ou actif des locaux qui optimise les coûts tout en utilisant efficacement l'énergie et en économisant les ressources;
- automation des bâtiments, suivi et optimisation de l'exploitation: systèmes fiables à coûts avantageux destinés à l'utilisation en réseau, évaluation de la consommation énergétique (valeurs de planification vs valeurs de consommation), recommandations à tirer; possibilités et effets des systèmes autorégulants;
- systèmes de chauffage émettant peu de CO₂, sollicitant peu le réseau électrique en hiver.

Société, marché et politique

- Accent sur les utilisateurs: sensibiliser à la consommation énergétique personnelle par des systèmes de feed-back; systèmes d'incitation à la suffisance;
- acceptation des solutions d'automation des bâtiments: influence de la sphère privée et de la sécurité, flexibilité d'utilisation et interfaces utilisateur.

⁸ En anglais: BIM-LCA (Building Information Modeling – Life Cycle Analysis).

3.1.5 Processus industriels

Contexte et problématique

Les processus industriels représentent près de 20 % de la consommation énergétique totale de la Suisse, plus de la moitié sous forme de chaleur de processus.

Les mesures d'efficacité jouent un rôle clé dans la réduction de la consommation énergétique. À cet égard, l'efficacité énergétique ne doit pas être comprise isolément, mais dans le contexte plus large de l'efficacité des ressources et de la minimisation des émissions à travers toutes les phases de la vie des produits. Les exigences spécifiques des processus en termes de niveau de température et de disponibilité constituent autant de défis à l'intégration des énergies renouvelables.

Les échanges de flux d'énergie et de matériaux à l'intérieur des processus, des sites et des réseaux régionaux permettent des gains d'efficacité et une flexibilisation de

la gestion de l'énergie. Les procédés innovants de conversion de l'énergie thermique ou électrique en matériaux et en agents énergétiques chimiques constituent un facteur de succès dans la perspective d'un couplage viable des secteurs. Les progrès de la numérisation génèrent de nouvelles possibilités d'optimisation et de connexion intelligente à tous les niveaux du système.

Dans le système énergétique, les processus industriels peuvent intervenir simultanément comme consommateurs, producteurs ou fournisseurs de services de stabilisation du réseau. Pour que ces rôles puissent être remplis durablement sur les plans économique et écologique, tant pour le processus individuel que pour le système global, des progrès techniques et des modèles d'affaires novateurs sont nécessaires.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Des problématiques liées aux diverses priorités sont mentionnées à titre d'exemples.

Chaînes de création de valeur efficaces (ressources)

- Intégration des bilans écologiques prédictifs dans les méthodes de conception des produits et des processus;
- minimisation de la consommation énergétique par la fermeture des cycles de produit et de flux de matière;
- approches systématiques pour une modernisation des infrastructures de processus consciente des enjeux énergétiques.

Technologies de processus novatrices

- Procédures novatrices d'intensification des processus (microréacteurs, catalyse, procédures hybrides, etc.);
- bioprocessus à faible coût énergétique;
- processus de fabrication additifs utilisant efficacement les ressources pour rationaliser les chaînes de livraison;
- concepts de numérisation visant à mesurer, régler et optimiser les processus dynamiques en réseau.

Intégration de sources d'énergie renouvelable

- Procédure de traitement de biomasse complexe comme matière première pour des matériaux, des combustibles et des carburants;

- électrification des processus visant à utiliser la production décentralisée d'électricité.

Processus intégrés et systèmes en réseau

- Flexibilisation de la consommation d'énergie;
- méthodes d'optimisation du développement et de l'exploitation des réseaux de processus complexes;
- intégration d'infrastructures industrielles dans des systèmes multi-énergie alimentés par des sources d'énergie fluctuantes.

Technologies pour le système énergétique de l'avenir

- Systèmes efficaces destinés à récupérer, interconnecter et stocker l'énergie chimique, thermique et électrique;
- processus innovants permettant la conversion efficace des excédents de courant électrique (PtX);
- production durable, réutilisation et recyclage des batteries, des piles à combustible, etc.

Questions économiques et de régulation

- Nouveaux modèles d'affaires et systèmes de gestion dans des systèmes fortement interconnectés;
- systèmes incitatifs économiques et réglementaires au service des mesures d'efficacité énergétique;
- opportunités et risques de la production décentralisée face aux économies d'échelle.

3.1.6 Mobilité

Contexte et problématique

La mobilité sur la route, le rail, les eaux et dans les airs est responsable d'un bon tiers de la consommation énergétique finale et de la moitié des émissions de CO₂ en Suisse. En outre, la mobilité augmentera encore à l'avenir en raison de l'évolution démographique et des comportements de mobilité en mutation. Pour atteindre les objectifs de politique climatique et énergétique de la Suisse, il est donc nécessaire de disposer d'offres adéquates qui répondent aux futurs besoins de mobilité de la société tout en minimisant leurs effets écologiques et économiques. Des efforts de recherche sont ainsi nécessaires dans de nombreux domaines, afin que les technologies et solutions requises soient disponibles.

Grâce à leurs effets multiplicateurs intermodaux, les innovations techniques aux niveaux des composants, des systèmes partiels et des véhicules permettent encore des économies substantielles d'énergie et des réductions conséquentes des émissions. Toutefois, ce potentiel d'optimisation achoppe à des limites techniques et

pratiques tandis que, par ailleurs, la mobilité est soumise à une profonde mutation: sous l'effet des possibilités inédites de la numérisation, l'interconnexion des secteurs se renforce et des concepts de mobilité radicalement nouveaux apparaissent.

Il faut élargir la perspective de la mobilité et se concentrer sur les défis posés par le système global pour tenir compte de cette évolution. C'est pourquoi la recherche devrait davantage traiter de thèmes qui considèrent la mobilité comme un système holistique et interconnecté en interaction avec d'autres domaines. Sur le versant de la demande de mobilité également, le potentiel d'économie d'énergie est substantiel: ce potentiel sera par exemple mieux exploité en mettant à disposition des offres de mobilité adaptées et en optimisant l'adéquation entre ces offres et les comportements des utilisateurs. C'est pourquoi la recherche énergétique doit davantage placer l'accent sur les aspects sociaux, économiques et humains de la mobilité.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Nouveaux concepts de mobilité

- Systèmes d'entraînement alternatifs dans le transport de marchandises lourdes et autres solutions innovantes de transport des marchandises, nouveaux concepts pour la logistique urbaine;
- systèmes de transport multimodal intégrés comprenant micromobilité pour le dernier kilomètre;
- Intégration de l'électromobilité dans un système énergétique holistique, utilisation de la batterie du véhicule pour soutenir le réseau et les services système, couplage véhicule-réseau (V2G) ;
- défis techniques et économiques liés à la production, à la distribution et à l'utilisation de carburants synthétiques et biogènes dans le secteur de la mobilité.

Bases, analyses et perspectives du système de mobilité

- Etudes du cycle de vie des systèmes de mobilité actuels et futurs, tant au niveau du système d'entraînement et du type de véhicule que pour le système global;

- Influence des nouveaux systèmes d'entraînement et carburants (synthétiques et biogéniques) sur les réseaux d'électricité et de gaz, ainsi que sur la consommation globale d'énergie et les émissions dans l'environnement;
- scénarios de changements de comportement de mobilité dus à des changements sociétaux, à de nouveaux modèles commerciaux, à des crises et à des conditions-cadres politiques modifiées;
- questions liées à l'acquisition, à la disponibilité, à la sécurité, à l'utilisation et à la propriété des données concernant la mobilité.

Optimisation technique du véhicule et du moteur

- Optimisation de la gestion énergétique des véhicules, notamment en prenant en compte les systèmes d'information géographique, le « big data » et l'intelligence artificielle;
- Optimisation des systèmes d'entraînement et de ses unités accessoires;
- Augmentation de l'efficacité grâce à l'optimisation de l'aérodynamique et du poids du véhicule.

3.1.7 Réseaux

Contexte et problématique

Le défi de ce champ thématique consiste à intégrer les diverses technologies de production, de conversion, de stockage et d'application en un système global efficace susceptible d'être exploité de manière fiable, sûre et interopérable.

Des concepts et technologies inédits sont nécessaires pour influencer systématiquement les flux de puissance à chaque niveau du réseau et pour coordonner les niveaux du réseau entre eux de manière à pouvoir exploiter sûrement les réseaux de distribution locaux en y intégrant de grandes quantités d'énergie renouvelable. Les options de flexibilité que représentent ces technologies peuvent en outre contribuer, séparément ou regroupées, à équilibrer le système global en tenant compte du marché.

La numérisation croissante et les nouveaux types de capteur ouvrent de nouvelles possibilités d'exploitation

sûre du réseau telles que le suivi (transparence du réseau), le pilotage et la régulation des éléments du réseau, les concepts de protection et un entretien durable du réseau.

L'encouragement de la recherche se concentre exclusivement sur les questions technologiques, prioritairement dans le domaine des réseaux et systèmes électriques. L'intégration d'autres agents énergétiques (couplage des secteurs) et les interactions avec ceux-ci sont aussi couvertes. Au vu de l'importance grandissante des aspects systémiques, les résultats de recherche (notamment au niveau des composants) qui proviennent d'autres domaines thématiques comme ceux des technologies électriques, des batteries, de l'hydrogène ou de la recherche non technique, font de plus en plus partie des bases des projets soutenus dans le cadre de ce programme.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Flexibilité

- Quantification et évaluation de l'offre de flexibilité (production, réseaux, solutions de stockage, consommateurs) et des besoins de flexibilité (énergétique, temporelle, spatiale);
- mise à disposition de services-système par l'intermédiaire des réseaux de distribution (ressources agrégées);
- utilisation des flexibilités industrielles;
- intégration des sources d'énergie renouvelable, des solutions de stockage et de la mobilité électrique;
- bases pour les standards et l'interopérabilité.

Exploitation du réseau

- Nouveaux types de capteurs distribués; méthodes axées sur ceux-ci visant à améliorer la transparence du réseau et les concepts de protection et de localisation des erreurs;
- phénomènes dynamiques;
- subsidiarité (pilotage centralisé vs décentralisé);
- exploitation résiliente et basée sur les risques (p. ex. grâce à l'automatisation des processus).

Numérisation

- Gestion des données (grand volume de données, internet des objets);
- méthodes d'anonymisation adéquate des données en vue de divers usages;
- recours à l'intelligence artificielle lors de la planification, de l'exploitation et de l'entretien (gestion des actifs);
- Interopérabilité des logiciels (p. ex. protocoles) et des matériels (p. ex. compteur intelligent);
- aspects spécifiques au domaine énergétique de la sécurité des données (cybersécurité); protection des infrastructures critiques.

Systèmes énergétiques

- Importance des différentes infrastructures de réseau (électricité, chaleur, gaz, etc.) et interactions entre celles-ci;
- architecture et intégration des différentes infrastructures de réseau (couplage des secteurs);
- instruments basés sur les risques servant à planifier des réseaux et des systèmes résilients en tenant compte des incertitudes (environnementale, technologique, politique, sociétale).

3.1.8 Systèmes énergétiques basés sur la combustion

Contexte et problématique

En Suisse, 70 % de l'énergie utile est produite par des processus de combustion. La décarbonisation visée exige, outre la substitution des agents énergétiques fossiles, de nombreuses améliorations et modifications des systèmes énergétiques basés sur la combustion. Ils doivent faire le meilleur usage possible de l'exergie des agents énergétiques chimiques employés. Leur efficacité ainsi que la flexibilité d'affectation doit être améliorée et les émissions polluantes réduites. Ces exigences s'appliquent tant aux agents énergétiques fossiles, aux combustibles synthétiques qu'à ceux issus de la biomasse ou des déchets. Comme on ne saurait encore prévoir quel combustible s'imposera pour telle ou telle application, les développeurs de combustibles et

les chercheurs dans le domaine de la combustion doivent étroitement coopérer.

Au contraire des voitures de tourisme ou les moteurs à combustion sont de plus en plus complétés ou remplacés par des moteurs électriques, les transports de marchandises continueront de dépendre principalement de l'utilisation d'agents énergétiques chimiques, à l'instar des machines de chantier et des machines agricoles. Les systèmes de production d'électricité comme les turbines à gaz ou les installations de couplage chaleur-force (CCF) peuvent contribuer très efficacement et de manière flexible à assurer l'approvisionnement en électricité, notamment en hiver.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Technologie de combustion

- Compréhension approfondie des mécanismes complexes et des facteurs d'influence du processus de combustion, en particulier pour les nouveaux combustibles;
- modèles de simulation précis et validation par prototypes pour ces processus;
- amélioration des processus de combustion pour éviter les fractions non brûlées de combustibles gazeux;
- développement des processus de combustion de diesel en vue de réduire la formation de substances nocives à l'intérieur du moteur.

Variabilité des combustibles

- Développement et optimisation des systèmes de combustion pour les combustibles tels que l'hydrogène, le méthane, le méthanol, les HVH⁹, le DME¹⁰, le OME¹¹, qui peuvent être obtenus à partir de sources d'énergie renouvelables;
- systèmes bicarburant permettant d'utiliser des combustibles gazeux et liquides dans des fractions variables;
- systèmes multicarburant permettant d'utiliser des combustibles de composition et de qualité diverses;
- systèmes très efficaces pour les combustibles à faible valeur calorifique ou issus de précurseurs chimiques.

Optimisation globale du système

- Systèmes très flexibles pour cycles «on/off» rapides et haute efficacité en charge partielle amenant à de faibles émissions polluantes;
- augmentation du rendement du système global, par exemple par l'utilisation de l'énergie des gaz d'échappement pour les processus additifs exergétiques ou chimiques;
- réduction des émissions polluantes par la coordination optimale des mesures intra-moteur et du traitement des gaz d'échappement.

Flexibilité de la production électrique

- Développement des turbines à gaz destinées à utiliser l'hydrogène et d'autres combustibles issus des énergies renouvelables;
- technologies de combustion et de turbinage à haute efficacité pour une large palette de charge;
- systèmes CCF comme élément de liaison, dans le couplage des secteurs, pour une grande flexibilité d'affectation et l'utilisation de divers combustibles.

Analyses du cycle de vie¹²

- Identification des meilleures voies technologiques, sous les angles écologique et économique, pour divers combustibles, systèmes de combustion et applications.

⁹ HVH: huiles végétales hydrotraitées

¹⁰ DME: diméthyléther

¹¹ OME: polyoxyméthylendiméthyléther

¹² En anglais: Life Cycle Analysis (LCA)

3.1.9 Pompes à chaleur et technique du froid

Contexte et problématique

Des agents énergétiques de haute valeur exégétique sont souvent utilisés pour générer des flux énergétiques de faibles ou moyennes température (20 °C – 150 °C) nécessaires dans de nombreux domaines. Les pompes à chaleur permettent à l'inverse de rehausser des flux de chaleur à la température requise avec un faible apport exégétique. Des nombreuses sources de chaleur adéquates sont à disposition (dans l'air, le sous-sol, les eaux de surface ou la chaleur résiduelle provenant de processus commerciaux ou industriels et la pompe à chaleur, lorsqu'elle fonctionne à l'énergie renouvelable, permet une décarbonisation très efficace dans le secteur de la chaleur.

Dans les bâtiments résidentiels, le recours aux pompes à chaleur est en forte progression pour le chauffage des bâtiments et de l'eau chaude sanitaire. Des améliorations sont cependant nécessaires pour répandre leur utilisation dans les bâtiments de plus grande taille ainsi que pour leur application dans les réseaux de chaleur à distance ou dans l'industrie, dont les exigences sont très spécifiques.

D'importants besoins sont à prévoir dans le domaine de la production de froid et l'intégration des pompes à chaleur ou des machines frigorifiques dans le système énergétique ouvre des potentiels d'application supplémentaires, par exemple en vue de coupler les secteurs de l'électricité et de chaleur ou dans les centres énergétiques («energy hubs»).

Alors que les pompes à chaleur peuvent déjà atteindre 50 % de l'efficacité théorique elles sont souvent exploitées en pratique bien en deçà d'un tel niveau. L'intégration et l'exploitation des systèmes aux bâtiments doit être améliorée et ajustée au comportement des utilisateurs. La numérisation crée de nouvelles possibilités pour optimiser l'exploitation et intégrer le photovoltaïque et les solutions de stockage. Un autre défi découle de la transition des agents de réfrigération usuels, qui comportent un potentiel élevé de gaz à effet de serre, vers des alternatives respectueuses du climat.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Les explications suivantes s'appliquent aussi par analogie à la technique du froid.

Amélioration de la technologie

- Amélioration de l'efficacité grâce à des compresseurs et des composants de meilleure qualité;
- amélioration de la régulation de la puissance;
- pompes à chaleur de taille réduite pour les applications décentralisées ou mobiles;
- domaine d'affectation élargi: par exemple applications industrielles à températures supérieures, divers niveaux de température dans les réseaux thermiques;
- développement de la technologie de sorption;
- suivit des technologies de pompe à chaleur non conventionnelles.

Domaines d'utilisation spéciaux

- Pompes à chaleur pour la mobilité électrique par basses températures;
- ou destinées aux appareils grand public.

Agents de réfrigération climatiquement neutres

- Pompes à chaleur dotées d'agent de réfrigération climatiquement neutre intégrées au système.

Intégration dans les systèmes d'application

- Combinaison efficace et flexible des pompes à chaleur avec l'énergie solaire et les solutions de stockage;
- mise à disposition flexible de chaleur et de froid pour les grands bâtiments et l'environnement urbain;
- régulation des pompes à chaleur dans le système de gestion technique du bâtiment;
- intégration des sources d'énergie renouvelables (photovoltaïque, solaire thermique, rejets de chaleur et chaleur ambiante) dans le secteur commercial et 'industriel.

Intégration dans le système énergétique

- Concepts de production réversible de chaleur/froid et d'électricité;
- pompes à chaleur et installations de refroidissement dans les réseaux thermiques et les centres énergétiques («energy hubs»);
- maintien de l'efficacité d'agrégats de pompes à chaleur et d'installations de refroidissement décentralisées utilisés pour assurer des services de flexibilité dans le réseau électrique.

3.2 Énergies renouvelables

3.2.1 Bioénergie

Contexte et problématique

À partir de la biomasse, il est possible de produire de la bioénergie sous forme d'électricité, de chaleur et de carburant. Quelles fractions de biomasse faudra-t-il transformer à l'avenir, en quels produits et avec quelles technologies, pour apporter une contribution substantielle au système énergétique suisse tout en atteignant une efficacité élevée? L'approche systémique gagne en importance, par exemple s'agissant de stockage de l'énergie ou de bioéconomie. Dans ce cadre, il faut aussi prendre en compte les interactions avec d'autres technologies énergétiques (p. ex. concernant les possibilités de pilotage, la flexibilité, le stockage), l'utilisation en cascade toujours plus fréquente et l'économie circulaire.

Outre l'intégration d'installations bioénergétiques dans le système énergétique global, les nouveautés techniques et les optimisations des technologies actuelles sont aussi essentielles pour mettre à disposition sur le marché des procédés de conversion plus efficaces. Dans toutes les démarches innovantes visant la conversion efficace et judicieuse écologiquement de la biomasse en énergie et son utilisation directe ou indirecte pour réduire les substances préjudiciables au climat, il faut démontrer la faisabilité technique et la rentabilité du projet non seulement en laboratoire, mais aussi dans le cadre de projets pilotes et de démonstration. Il faut en outre réduire les entraves au marché, respectivement en identifier les raisons.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

La biomasse comme substrat

- Acquisition de biomasse et logistique: comment mobiliser les potentiels disponibles? Y a-t-il des concepts logistiques novateurs?
- Nouveaux substrats de la biomasse: fractions de biomasse qui n'aient pas encore été prises en compte;
- valorisation judicieuse des matières et de l'énergie contenues dans la fraction biogène des déchets.

La biomasse comme source d'électricité et de chaleur et comme carburant

- Chaleur de processus: que peut fournir la bioénergie destinée à la production de chaleur de processus dans l'industrie? Quels sont les défis techniques?
- Intégration dans le système énergétique global des installations de couplage chaleur-force alimentées aux agents énergétiques biogènes;
- réseaux de chaleur à distance: configurations de conception optimales en associant d'autres systèmes de production énergétique;
- préparation de biogaz à petite échelle pour des concepts d'utilisation décentralisés;
- biocarburants comme carburants de substitution, afin de limiter les effets sur le processus de raffinement et les infrastructures de distribution.

La biomasse dans la bioéconomie

- Liaison des cycles de matières par-delà les frontières sectorielles, afin de générer une plus-value matérielle et énergétique tout en bouclant les cycles de matières;
- création de valeur supérieure des installations bioénergétiques (nouveaux concepts, produits);
- utilisation énergétique et matérielle des matières résiduelles issues de la production et de la transformation industrielles (digestat, petit-lait, CO₂, etc.);
- aspects énergétiques liés à la fabrication de produits chimiques de base d'origine biologique (efficacité, optimisation énergétiques, intégration, éco-bilan, etc.);
- biomasse en tant que ressource pour la valorisation matérielle et énergétique dans l'industrie;
- création de valeur supérieure grâce aux nouveaux domaines d'utilisation des déchets générés par la production bioénergétique ou dans d'autres secteurs économiques (p. ex. fractions riches en protéines des déchets d'abattoir ou lignine pour la production de bioplastiques);
- bioénergie, captage et utilisation du carbone (BioCCU): quelles sont les options en Suisse? Le BioCCU est-il le précurseur du BioCCS (bioénergie, captage et stockage du carbone)?

3.2.2 Géoénergie

Contexte et problématique

Des ressources indigènes inépuisables, de faibles émissions de gaz à effet de serre associées et une disponibilité fiable en permanence font de la géothermie une source d'énergie attractive. Ceci est vrai tant pour la production électrique que pour l'approvisionnement en chaleur et en froid grâce à l'utilisation directe de la géothermie, qui est alors distribuée par des réseaux de chaleur ou, en cas d'utilisation indirecte de la géothermie, par le recours à des pompes à chaleur. L'utilisation de réservoirs géothermiques comme accumulateur

d'énergie revêt aussi de l'importance. C'est pourquoi la géothermie est appelée à jouer un rôle croissant à l'avenir sur le marché de la chaleur. Selon les études menées par le PSI, les potentiels techniquement réalisables sont de l'ordre du TWh. Les défis posés à la recherche sont multiples, par exemple dans les domaines suivants: caractérisation et prospection du sous-sol, intégration de la géothermie dans les systèmes énergétiques régionaux, exploitation durable du sous-sol et acceptation de la société.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Production électrique et couplage chaleur-force

- Nouvelles méthodes de prospection destinées à accroître la probabilité de succès des forages exploratoires;
- réduction des incertitudes en cas de forage concluant et prospection des réservoirs selon de meilleurs procédés de modélisation;
- développement de nouveaux procédés de forage profond et de prospection visant à baisser les coûts de revient;
- utilisation de CO₂ comme échangeur de chaleur dans les réservoirs géothermiques destinés à la production électrique;
- nouvelles méthodes destinées à l'observation et à l'analyse de la sismicité induite et à la réduction du risque qu'elle constitue;
- recherche concernant la sécurité en cas de présence conjointe d'eau chaude et d'hydrocarbures dans le sous-sol;
- stratégies d'exploitation durable du sous-sol profond;
- études détaillées concernant la détection et la gestion des dangers, la gestion des risques et l'acceptation publique de la géothermie.

Production de chaleur par exploitation directe

- Nouvelles méthodes de prospection destinées à accroître la probabilité de succès des forages exploratoires;

- démonstration de nouvelles méthodes visant à planifier et à réaliser les accumulateurs de chaleur;
- développement du concept de réseau intelligent pour les réseaux thermiques, l'accent étant placé sur la variabilité de l'offre et de la demande et sur les possibilités de contributions au couplage des secteurs;
- gestion des risques (risques de précipitation chimique, risques environnementaux éventuels) et comportement à long terme des accumulateurs de chaleur;
- aspects de l'acceptation de l'exploitation directe.

Production de chaleur et de froid par exploitation indirecte

- Élaboration de bases pratiques (bonne pratique) censées promouvoir la pénétration des géo-structures et les autres concepts d'exploitation de la géothermie peu profonde;
- évolution du sous-sol à long terme (spécialement: température du sous-sol dans les zones urbaines);
- concepts d'exploitation optimisés et durables du sous-sol tenant compte des divers intervenants et de leurs intérêts;
- analyse du cycle de vie¹² et effets sur l'environnement des sondes géothermiques désaffectées.

3.2.3 Photovoltaïque

Contexte et problématique

À comparer les diverses options de production d'énergie renouvelable, le photovoltaïque dispose d'un très bon potentiel de développement à bas coût de revient. Tant à l'échelle nationale que sur le plan international, un rôle majeur est donc dévolu à cette technologie dans l'approvisionnement en énergie. Des acteurs suisses de la recherche et de l'industrie sont à la pointe au niveau international dans divers domaines partiels du photovoltaïque.

Les défis à relever dans le domaine photovoltaïque sont: (1) la réduction progressive des coûts tout au long de la chaîne de production de valeur, l'amélioration de l'efficacité des composants individuels et la réalisation industrielle de nouveaux produits et procédés de fabrication; (2) l'assurance de la qualité et l'amélioration de la fiabilité des installations. Le potentiel de

l'électricité solaire exploitable sur le territoire suisse est de 67 TWh par an (110 % de la consommation électrique nationale). De nouvelles solutions d'intégration optimale du photovoltaïque dans les bâtiments et dans le réseau de distribution électrique sont donc d'une importance essentielle. En outre, les questions de durabilité (diminution de l'utilisation d'énergie et de matériaux dans la production ou le recyclage) constituent une thématique importante.

Le programme de recherche Photovoltaïque coordonne l'encouragement de projets visant des thèmes de recherche susceptibles de fournir des amorces de solution pour l'ensemble des champs thématiques concernés.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Technologies des cellules

- Développement de cellules solaires cristallines en silicium: technologie de l'hétérojonction, Advanced PERC (contacts passivants, IBC¹³);
- cellules solaires en couches minces de CIGS (substrats flexibles);
- concepts tandem pour des cellules hautement efficaces;
- questions de fabrication (p. ex. liaisons des cellules).

Technologies des modules et des onduleurs

- Photovoltaïque intégré au bâtiment (PVIB): couleur, forme, structure des surfaces, bifacialité, etc.;
- modules à concentration;
- questions de fabrication (p. ex. laminage, construction légère);
- nouvelles technologies pour les onduleurs.

Assurance de la qualité et performance

- Caractérisation et test des modules;
- tests à long terme des modules et des installations;
- tests des onduleurs;
- questions de salissure (soiling);
- concepts de montage.

Monitoring et durabilité

- Nouvelles approches pour les prévisions (p. ex. analyse des données massives, réseaux neuronaux artificiels);
- analyse du cycle de vie¹².

Intégration du réseau et aspects systémiques (solutions de stockage)

- Solutions de stockage décentralisées et gestion des accumulateurs;
- amélioration des concepts en vue de l'intégration du réseau;
- photovoltaïque et mobilité;
- optimisation saisonnière («électricité hivernale»).

¹³ IBC: «interdigitated back contact» (contact arrière interdigité).

3.2.4 Énergie solaire à haute température

Contexte et problématique

Les systèmes solaires thermiques à concentration transforment le rayonnement direct du soleil en chaleur à haute température pour produire de l'électricité ou pour déclencher des réactions chimiques. Le rayonnement solaire est focalisé au moyen de miroirs sur un récepteur de chaleur («receiver») placé dans le foyer, c'est-à-dire sur la ligne focale où l'énergie est soit transférée sur un agent caloporteur soit directement utilisée. Le coût de revient de l'électricité produite par les centrales solaires thermiques (STE¹⁴) sont supérieurs aux coûts des systèmes photovoltaïques. Mais la technologie thermosolaire présente des avantages quant à l'intégration dans le système énergétique grâce au stockage thermique, qui permet dans certains cas une production d'énergie en ruban.

Parmi les activités soutenues par l'OFEN, un accent est placé sur la thermochimie solaire (processus de production d'hydrogène et de gaz de synthèse, les «solar fuels»). Dans ce cadre, la mise en œuvre technique à plus large échelle constitue en particulier une priorité. Une autre priorité est le développement d'éléments

novateurs pour produire de l'électricité et de la chaleur de processus à partir d'énergie solaire thermique, à savoir: des systèmes à récepteur dotés de nouveaux fluides thermiques, des solutions de stockage à haute température d'un genre inédit, des systèmes de nettoyage actifs pour les réflecteurs, la combinaison d'énergie solaire obtenue par concentration et de chaleur de processus.

Comme il n'existe pas en Suisse à proprement parler un potentiel pour utiliser cette technologie (hormis la chaleur de processus solaire), il s'agit de développer des approches novatrices dans la perspective de technologies exportables. L'utilisation d'installations destinées à produire de la chaleur de processus fait également en Suisse l'objet prioritaire d'études détaillées qui recourent à diverses installations pilotes sous suivi scientifique. Ces études doivent permettre d'élaborer des connaissances fondamentales sur le potentiel tant technique qu'économique de ces installations en Suisse.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Thermochimie et carburants solaires

- Développement de nouveaux réacteurs;
- récepteur volumétrique absorbant les gaz;
- systèmes hybrides;
- stockage à haute température;
- photovoltaïque à forte concentration pour les carburants.

Énergie solaire à concentration (ESP/STE)

- Développement de nouveaux récepteurs;
- stockage à haute température;

- encrassement («soiling»);
- évaluation et prévision des ressources solaires.

Chaleur de processus solaire

- Monitoring à long terme et analyse de performance des installations existantes en Suisse (installations pilotes);
- chaleur de processus à haute température;
- nouveaux concepts d'intégration du système (stockage).

¹⁴ STE = Solar Thermal Electricity

3.2.5 Thermie solaire et stockage de la chaleur

Contexte et problématique

En moyenne, dans les ménages, plus de 75 % de l'énergie est utilisée sous forme de chaleur. Dans l'industrie également, les besoins de chaleur sont importants, qu'il s'agisse du chauffage des locaux, de la production d'eau chaude ou des processus. Le programme de recherche «Thermie solaire et stockage de la chaleur» vise à soutenir le développement de solutions pionnières pour une utilisation économiquement et techniquement efficace de la chaleur solaire. Ce

programme comprend aussi bien la production par des composants solaires thermiques que le stockage de chaleur, qui joue un rôle important dans le développement et l'intégration du système dans les systèmes d'approvisionnement renouvelables. Le programme de recherche se concentre sur les technologies de chauffage et de refroidissement des bâtiments, des sites et des quartiers.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Collecteurs solaires thermiques

- Pour que les collecteurs thermiques et PV/T¹⁵ continuent de contribuer de manière déterminante, à l'avenir également, à la réalisation des objectifs de la Stratégie énergétique, il doit être possible de les installer simplement, leur exploitation doit être sûre et fiable et ils doivent être techniquement efficaces;
- le développement et la démonstration des approches novatrices visant à empêcher la stagnation de chaleur doivent être poursuivis;
- la taille des champs de capteurs allant croissant (p. ex. pour les immeubles résidentiels et l'intégration dans les réseaux de chaleur), il faut développer des contrôles de fonction efficaces et bon marché, qui utilisent les nouvelles possibilités de la numérisation.

Stockage de la chaleur

- La qualité exergétique des accumulateurs de chaleur hydraulique (superposition des accumulateurs) doit être maximisée, les échangeurs de chaleur des accumulateurs de glace doivent être améliorés et les solutions techniques des accumulateurs thermiques à forte densité de stockage doivent être démontrées;
- diverses approches sont à l'étude pour continuer de réduire les pertes de chaleur et les coûts des solutions de stockage thermiques, par exemple l'amélioration économique et technique des isolations sous vide et d'autres concepts d'isolation des accumulateurs;
- il faut étudier l'intégration des accumulateurs de chaleur locaux dans le système énergétique. Dans ce cadre, le développement des solutions de stockage saisonnier constitue l'une des priorités;

- dans le domaine des accumulateurs thermo-chimiques, l'intégration et l'utilisation économiquement et techniquement optimisées du système sont prioritaires.

Systemes

- L'amélioration des concepts de système doit contribuer à réduire les coûts de l'énergie solaire. Les systèmes doivent être conçus de manière à fournir de bonnes options de solution pour atteindre les objectifs des divers standards applicables aux bâtiments (MoPEC, Minergie) tout en s'intégrant bien en termes d'aménagement et à faible coût;
- les concepts de refoulement, les combinaisons optimisées de collecteurs PV/T et de pompes à chaleur ainsi que l'intégration de la thermie solaire dans des réseaux (intelligents) d'énergie ou de chaleur dotés d'un stockage de chaleur à court et à long termes;
- les systèmes solaires/solaires thermiques intelligents munis de champs de capteur d'assez grande taille doivent être intégrés davantage dans les systèmes de gestion de l'énergie et munis d'un contrôle de fonctionnement, d'un signal d'erreur automatique et de caractéristiques nouvelles à valeur ajoutée comme la commande d'auto-consommation pour les systèmes PV/T.

Instruments de planification

- Dans ce domaine, l'OFEN soutient l'étude d'approches qui conduisent à une optimisation automatique, par exemple grâce à l'intégration de prévision de rayonnement et/ou d'algorithmes apprenants.

¹⁵ PV/T: photovoltaïque-thermique.

3.2.6 Barrages

Contexte et problématique

L'objectif du programme de recherche Barrages est d'améliorer les bases techniques permettant d'assurer la sécurité des ouvrages d'accumulation. La stabilité des constructions (murs, digues ou barrages au fil de l'eau) est prioritaire. Mais le programme de recherche couvre également la stabilité des versants dans la zone du bassin de retenue et les installations annexes intéressant la sécurité (p. ex. évacuateurs de crues, vidanges intermédiaires et vidanges de fond).

Les priorités de recherche du programme découlent des besoins de l'Office fédéral de l'énergie, qui est l'autorité de surveillance de la Confédération en charge de la sécurité des ouvrages d'accumulation en Suisse. Trois domaines de recherche sont actuellement prioritaires: les événements naturels extrêmes, les processus de vieillissement et les méthodes de surveillance.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Événement naturel extrême

Cette priorité de recherche doit permettre d'améliorer l'estimation de l'impact des crues et des séismes sur les barrages. Elle doit en outre conduire à une évaluation plus précise du comportement des barrages dans ces conditions extrêmes. Par exemple:

- des bases sont établies pour que soient prises en compte, pour les preuves de la sécurité des ouvrages d'accumulation, les plus récentes connaissances et données relatives à l'appréciation des crues extrêmes en Suisse;
- des méthodes sont développées pour évaluer le comportement des pentes entourant le bassin d'accumulation sous l'effet d'un séisme;
- la démarche est élaborée pour évaluer le comportement des surfaces étanchéifiées en béton bitumineux.

Processus de vieillissement

La priorité de recherche vise à mieux comprendre les processus de vieillissement (p. ex. réaction alcali-granulat) dans les barrages. Des procédures pour évaluer

les effets des processus de vieillissement et les éventuelles mesures à prendre doivent être développées. Par exemple:

- les conditions sont créées pour relever des séries complètes de mesures décrivant les processus de vieillissement de barrages choisis et pouvant servir de base au développement de modèles prévisionnels de ces processus.

Méthodes de surveillance

Cette priorité de recherche sert à développer et appliquer de nouvelles méthodes visant à améliorer la surveillance des barrages. En outre, les méthodes analytiques d'interprétation des observations réalisées doivent être améliorées. Par exemple:

- des applications pilotes visant à mesurer les déformations de surface des barrages sont réalisées pour déterminer l'adéquation et les possibilités d'utilisation de tels procédures de mesure aux fins de surveillance des ouvrages d'accumulation.

3.2.7 Force hydraulique

Contexte et problématique

Les attentes formulées à l'endroit de la force hydraulique sont, d'une part, une contribution accrue à la production électrique suisse et, d'autre part, une amélioration de la situation écologique des eaux en termes de débits résiduels, de migration des poissons et de charriage. Ces aspects sont en conflit de par leur nature. Simultanément, la force hydraulique doit être adaptée aux conditions hydrologiques modifiées et à d'autres effets du changement climatique

La restructuration de l'approvisionnement en électricité entraîne pour la force hydraulique, en particulier pour les centrales hydroélectriques à accumulation, de plus hautes exigences en termes de flexibilité et de stockage de l'énergie. Ces exigences contredisent quant à elles l'obligation d'améliorer la problématique des éclusées. Des amorces de solution technique ne suffisent pas à assurer du succès. Les prix de l'électricité sur le marché européen, extrêmement bas ces dernières années, et l'acceptation limitée des nouveaux projets hydroélectriques entravent la mise en œuvre de concepts technologiques existants. La longueur extrême des délais jusqu'à la mise en exploitation de cen-

trales hydroélectriques nouvelles ou agrandies nécessite que l'on commence aujourd'hui la mise en œuvre de ses projets pour atteindre les objectifs de la stratégie énergétique 2050. Les conditions-cadres correspondantes doivent être créées à cet effet pour susciter les décisions d'investissement.

L'objectif général du programme de recherche Force hydraulique est d'exploiter aussi complètement que possible le potentiel hydroélectrique de la Suisse en tenant compte des aspects globaux. Tous les types d'utilisation de la force hydraulique peuvent être encouragés. La préférence va généralement aux potentiels supplémentaires de certaine importance ou au maintien de l'exploitation de tels potentiels ou aux projets permettant d'améliorer les conditions économiques ou hydro-écologiques.

Les thèmes de recherche prioritaires ci-dessous ne peuvent être clairement attribués à la grande ou à la petite hydraulique. Pour nombre de problématiques, la puissance installée est d'importance secondaire. Les thèmes non explicitement mentionnés peuvent en principe également recevoir un soutien pour autant qu'ils concordent avec les objectifs généraux.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

- Adaptation aux effets du changement climatique (p. ex. recul des glaciers, apport accru de sédiments, événements extrêmes);
- possibilités de déplacer la production de l'été en hiver et d'augmenter la production hivernale;
- mesures d'accroissement de la flexibilité d'exploitation;
- adaptation de composants et de mesures (exploitation, surveillance) à des modes de fonctionnement très flexibles;
- possibilités de fournir des services-système et des services de réseau;
- identification de potentiels hydroélectriques non exploités à ce stade;
- modèles prévisionnels améliorés pour accroître la production et la rentabilité;
- amélioration de l'état écologique des eaux (p. ex. migration des poissons, problématique des éclusées, gestion des sédiments, réglementation des débits résiduels);
- développement d'aides à la décision pour les nouvelles concessions et l'extension d'installations existantes;
- stratégies de commercialisation améliorées (p. ex. par l'intégration dans des communautés d'auto-consommateurs ou par la combinaison avec l'électromobilité);
- technologies standards à coût avantageux.

3.2.8 Hydrogène

Contexte et problématique

L'utilisation de l'hydrogène (H₂) dans le système énergétique permet une flexibilisation en ce que l'énergie renouvelable (électricité) peut être couplée dans d'autres secteurs (couplage des secteurs, conversion d'électricité en gaz). Cette flexibilité s'avère particulièrement intéressante lorsqu'il n'est pas possible d'utiliser directement l'électricité (p. ex. dans les transports lourds électrifiés). La bonne capacité de stockage à long terme de l'hydrogène est particulièrement importante pour assurer une compensation saisonnière lorsque les parts d'énergie renouvelable sont très élevées et, dans certains cas, également en lien avec les services de réseau. L'utilisation de H₂ renouvelable comme matière première chimique dans l'industrie peut aussi contribuer fortement à réduire les émissions de gaz à effet de serre dans ce secteur. La consommation industrielle de H₂ en Suisse est de 13 kT par an, dont plus de 90 % proviennent de sources fossiles.

L'inconvénient inhérent à la production et à l'utilisation d'hydrogène, par rapport à une utilisation directe d'électricité renouvelable, réside dans les pertes de conversion assez importantes. L'utilisation énergétique de l'hydrogène est en particulier promue par l'emploi qui en est fait dans la mobilité (véhicules à pile à combustible). Cependant, pour exploiter des véhicules à pile à combustible, il faut une infrastructure H₂ qui est assez coûteuse pour un faible nombre de véhicules («problème de la poule et de l'œuf»). Mais ces coûts peuvent être fortement réduits par les effets d'échelle. Les priorités des activités co-subsventionnées par l'OFEN vont à la recherche fondamentale axée sur les matériaux, au développement du système et à la démonstration ainsi qu'aux tests dans le cadre de projets pilotes.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Production d'hydrogène solaire

- Photocatalyse;
- hydrogène solaire thermique/production de gaz de synthèse (syngas).

Électrolyse

- Pertes de transport dans les cellules d'électrolyse PEM;
- dégradation et durabilité des cellules d'électrolyse PEM;
- analyse et caractérisation;

- cellules d'électrolyse à oxyde solide («solid oxide electrolysis cells», SOEC).

Biohydrogène

Stockage de l'hydrogène

Aspects systémiques

- Ravitaillement en hydrogène et sécurité de l'hydrogène;
- distribution de l'hydrogène;
- conversion d'électricité en gaz («power to gas»).

3.2.9 Énergie éolienne

Contexte et problématique

La majeure partie de l'énergie éolienne repose sur une technologie relativement mûre basée sur de grandes turbines à axe horizontal. Selon la stratégie énergétique 2050, l'objectif de développement à long terme de l'énergie éolienne se situe à 4 TWh, les zones protégées étant déjà prises en compte dans cette estimation. Afin de permettre ce développement et d'améliorer la rentabilité des projets éoliens, il est nécessaire d'élaborer des connaissances approfondies sur la réduction des obstacles spécifiques. Les connaissances acquises à l'étranger ne sont pas toujours transposables à la Suisse en raison de la situation particulière de son espace naturel. L'aide apportée par le programme de recherche Énergie éolienne met l'accent sur la recherche à dominante technique qui comble les lacunes de connaissances dans notre pays. Le suivi scientifique à l'intersection de l'énergie éolienne et des autres disciplines telles que l'ornithologie ou la recherche sur le bruit ne sera assuré qu'en coopération avec les autres offices fédéraux et avec leur soutien financier.

L'énergie éolienne est une technologie mûre, mais des questions de recherche importantes demeurent, car elle se situe à l'interface de plusieurs sciences (p. ex. l'aérodynamique, les matériaux, l'acoustique, la numérisation). Selon les estimations du NREL («National

Renewable Energy Laboratory»), la recherche sur l'énergie éolienne pourrait contribuer à une réduction de 50 % des coûts de l'énergie éolienne d'ici à 2030.

L'optimisation du rendement par installation et la configuration du parc sont spécialement importantes en Suisse pour améliorer la rentabilité et utiliser de manière optimale les sites adéquats dont le nombre est limité. Une large majorité des sites appropriés en Suisse se trouve en zone de (moyenne) montagne, ce qui pose quelques défis technologiques eu égard à l'intensité plus forte des turbulences et au climat rude. Grâce aux optimisations innovantes, des sites supplémentaires seront envisagés ou des sites actuels pourront être mieux utilisés.

Fondamentalement, l'objectif central de ce programme de recherche est de développer l'utilisation de la technologie actuelle pour la Suisse avec des éoliennes dans le domaine du mégawatt. Les nouveaux concepts d'installation sont d'importance secondaire compte tenu des limites de volume du marché à l'échelle mondiale et vu que les conditions de vent sont généralement insuffisantes dans les zones habitées en Suisse. La recherche sur les petites éoliennes est exclue en raison du budget limité.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Optimisation du parc éolien

- Développement de techniques basées sur les données pour planifier, configurer et exploiter des parcs éoliens;
- développement et validation des stratégies de contrôle visant à optimiser la performance globale de l'exploitation (p. ex. nouvelles prévisions, micro-météorologie).

Alternatives: technologies d'éoliennes au-delà de 1 MW

Optimisation des turbines

- Optimisation des composants; particulièrement pour le recours à l'énergie éolienne dans les terrains complexes;
- développement et validation des composants pour le climat froid et des prévisions de givrage précises;
- stratégie de réduction du bruit.

3.3 Recherche dans le domaine des sciences humaines et des sciences sociales

3.3.1 Énergie – économie – société

Contexte et problématique

Le programme de recherche Énergie – économie – société (EES) s'intéresse à la recherche orientée vers les applications qui relève de la politique énergétique, autrement dit à des questions économiques, sociologiques, psychologique et politologiques tout au long de la chaîne de création de valeur de l'énergie. L'objectif de ce programme de recherche consiste à élaborer des bases scientifiques en vue des diverses décisions de politique énergétique à venir.

La Stratégie énergétique 2050 du Conseil fédéral prévoit la sortie progressive de l'énergie nucléaire, le respect simultané des objectifs climatiques et le maintien de la haute sécurité d'approvisionnement de la Suisse. Ce triple objectif suppose une amélioration de l'efficacité énergétique et un développement de la production énergétique à partir des sources renouvelables.

La recherche menée dans le domaine EES est censée permettre une meilleure compréhension du comportement des acteurs et du fonctionnement des marchés.

Les potentiels et les coûts relatifs des diverses mesures doivent être présentés et leurs modalités doivent être optimisées. Il faut en outre viser à obtenir une vue d'ensemble de la transformation du système énergétique et une meilleure compréhension des relations transversales et des interactions entre les divers comportements et mesures.

Ce programme de recherche doit fournir le cadre à l'identification et au développement d'instruments de même qu'à l'élaboration de conditions-cadres permettant de réaliser la transformation du système énergétique à un coût macroéconomique aussi réduit que possible. Pour l'OFEN, la recherche conduite dans les domaines «Entreprises et ménages», «Marchés, réglementation et mesures politiques» ainsi que «Modélisation et analyses pansystémiques» revêtent un intérêt particulier.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Entreprises et ménages

- Analyse du comportement de consommation et d'investissement de divers acteurs ayant une incidence sur l'énergie, sur la base de méthodes psychologiques, sociologiques et économiques. Formulation de recommandations de mesures à prendre.

Marchés, réglementation et mesures politiques

- Conception et réglementation des marchés de l'énergie et conception de mesures politiques en vue d'un système énergétique renouvelable, sûr et efficace;
- création des conditions-cadres permettant d'intégrer les énergies renouvelables dans le système énergétique; conception et réglementation des marchés de l'énergie dans des systèmes énergétiques décentralisés;

- analyse des interactions entre les mesures de politique énergétique et les mesures politiques dans d'autres domaines; analyse de l'influence des mesures internationales de politique énergétique et climatique; position de la Suisse sur les marchés internationaux de l'énergie.

Modélisation et analyses pansystémiques

- Développement et amélioration de modèles et de scénarios présentant les évolutions futures possibles du système énergétique et les principaux moteurs de ces évolutions;
- meilleure compréhension des conditions-cadres politiques, économiques et sociales des scénarios et analyse des effets macroéconomiques et des interactions entre les diverses mesures politiques;
- facteurs d'influence de la transition sociétale; interactions entre les changements technologiques, sociétaux, politiques et individuels.

3.3.2 Déchets radioactifs

Principes du programme de recherche

Le Groupe de travail de la Confédération pour la gestion des déchets nucléaires (AGNEB) commande la réalisation du programme de recherche Déchets radioactifs. Celui-ci décrit d'éventuels projets de recherche et études indépendants qui, visant des questions de recyclage interdisciplinaires ou concernant plusieurs offices au niveau fédéral, ne peuvent pas être traités ailleurs ou pour lesquels aucune autre structure ne convient (réceptacle à titre supplétif des questions de recherche). Ainsi, l'AGNEB est par exemple en mesure de lancer des propositions d'étude, de signaler des lacunes et d'apprendre des résultats. Le financement des projets est assuré par les offices qui participent à la recherche interdisciplinaire. La direction de projet fixée par l'AGNEB assume la responsabilité de l'exécution d'un projet de recherche. L'AGNEB est elle-même en

charge de l'assurance de la qualité et de la communication.

Organisation du programme de recherche

L'AGNEB est soutenue par un secrétariat de recherche administrativement rattaché à l'OFEN. Elle organise chaque année une réunion en cercle fermé à laquelle la Commission fédérale de sécurité nucléaire (CSN) est invitée. Une équipe de projet composée de membres de l'AGNEB est formée pour mettre en œuvre les projets de recherche. Les projets de recherche menés dans le cadre du programme de recherche doivent être fondés scientifiquement et traités dans la perspective des applications. Au terme de chaque projet de recherche, une évaluation permet de déterminer si un projet subséquent est judicieux et nécessaire dans ce champ thématique.

Thèmes de recherche prioritaires de 2021 à 2024

Conservation du savoir et marquage des dépôts en couches géologiques profondes

- L'OFEN a participé jusqu'ici, dans le cadre de l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN), à l'initiative «Preservation of Records, Knowledge and Memory across generations». Ces travaux doivent être poursuivis dès 2020 dans le cadre du nouveau Groupe de travail sur la gestion de l'information, des données et des connaissances.

Procédure de plan sectoriel Dépôt en couches géologiques profondes

- Deux étapes importantes seront d'actualité ces prochaines années dans la procédure de sélection menée par la Suisse concernant les sites de dépôt de déchets radioactifs. La Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs (Nagra) fera probablement savoir en 2022 pour quels sites elle élaborera des demandes d'autorisation générale. Elle prévoit de soumettre les demandes d'autorisation générale correspondantes en 2024. Les questions de recherche encore ouvertes qui relèvent des sciences humaines et sociales seront clarifiées dans le cadre du programme de recherche.

3.4 Projets pilotes et de démonstration

Contexte

La mise à l'épreuve des innovations sous conditions réelles à l'aide de projets pilotes et de démonstration (P+D) 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 strictes lors de cette étape cruciale et de nombreuses technologies s'y enlisent. Le programme P+D pallie à cette lacune au travers de son soutien subsidiaire qui facilite la prise de décision d'investissement du secteur privé.

Public cible et processus d'attribution

Le programme s'adresse principalement aux PME qui développent en Suisse les technologies énergétiques de demain : 68 % des organisations soutenues entre 2013 et 2017 étaient des PME. Les projets soutenus ne se limitent pas à un thème spécifique, mais couvrent l'ensemble du système énergétique en favorisant l'utilisation des énergies renouvelables, l'augmentation de l'efficacité énergétique, le développement des technologies de stockage ou encore l'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. De nombreux projets ont été soutenus ces dernières années dans certains domaines précis comme les micro-réseaux, la fabrication de carburants biogènes, le secteur du bâtiment, ou encore les machines et véhicules électriques. Dans ces domaines, une attention accrue doit être accordée au degré d'innovation et les projets futurs qui seront soutenus doivent ainsi comporter des

développements fondamentalement nouveaux ayant un potentiel d'application élevé. De manière générale les solutions ou composants de systèmes déjà disponibles sur le marché ne peuvent pas être soutenus. La liste complète et détaillée des critères et les informations utiles à la transmission et à l'évaluation des demandes se trouvent dans la directive d'exécution¹⁶ du programme P+D. Les requêtes de soutien financier pour des projets dans le cadre du programme P+D peuvent être adressées en tout temps et il est recommandé de soumettre une ébauche du projet aux spécialistes de l'office en amont de la soumission de la requête. Une fois cette dernière déposée de manière complète, un délai maximum de trois mois est pris pour la décision concernant l'octroi et le montant de la subvention.

¹⁶ www.bfe.admin.ch/pilotedemonstration

3.5 Programme d'encouragement SWEET

Compétent pour la Stratégie énergétique 2050, l'Office fédéral de l'énergie peut, de manière optimale, orienter les thèmes des appels d'offres lancés dans le cadre de SWEET selon les objectifs de la Stratégie énergétique tout en assurant la coordination avec les autres institutions de soutien des pouvoirs publics.

Pour l'essentiel, SWEET se conforme aux règles existantes de la recherche de l'administration fédérale³. 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.

SWEET apporte son soutien à toute la recherche appliquée, qu'elle soit fondamentale ou proche du marché. L'accent est placé sur la recherche appliquée et sa mise en œuvre. Les appels d'offres peuvent être organisés dans les domaines suivants:

- efficacité énergétique;
- énergies renouvelables;
- stockage;
- réseaux;
- recherche non technique (p. ex. recherche socio-économique ou socio-psychologique);
- sécurité et sécurisation des installations nucléaires et des infrastructures énergétiques.

SWEET s'étend sur 12 ans et les projets de consortium spécifiques recherchés devrait s'étendre sur une durée de six à huit ans.

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 inter-

disciplinaires et transdisciplinaires. La recherche énergétique relevant des sciences humaines et sociales reçoit une attention particulière.

L'économie privée doit s'impliquer adéquatement dans les projets de recherche. Le financement de privés est aussi possible dans le cadre de travaux de recherche préconcurrentiels dans la mesure où leur savoir-faire est déterminante pour le succès du projet. Les chercheurs d'instituts étrangers peuvent exceptionnellement bénéficier d'un soutien pour autant que leurs compétences soient essentielles aux projets de consortium.

Aux bas niveaux de maturité technologique (NMT) et pour la recherche non technique, les investisseurs privés sont rares. Généralement, ces projets dépendent, totalement ou en partie, de l'appui des pouvoirs publics. C'est pourquoi SWEET peut assumer jusqu'à 100 % du financement des projets de recherche.

L'intégration cohérente de ce programme parmi les instruments existants de l'OFEN (recherche énergétique, programmes pilotes et de démonstration, SuisseEnergie) est garantie. Le programme de projets pilotes et de démonstration de l'OFEN est en particulier étroitement coordonné avec SWEET.

Le transfert de savoir et de technologie (TST, point 6.3) représente un critère essentiel lors du choix des projets de consortium. C'est pourquoi un soutien est prioritairement apporté à des projets présentant une forte pertinence pratique. De ce fait, les dépôts de projet impliquant des partenaires économiques issus de l'industrie et des PME, des pouvoirs publics (commune, villes) et des entreprises liées à la Confédération bénéficient d'une priorité élevée.

SWEET présente la particularité de mettre un petit budget à la disposition d'idées de projet compétitives, dont l'objectif est d'encourager le développement de technologies disruptives.

4 Financement

4.1 Dépenses des pouvoirs publics

En 2018, l'OFEN a contribué pour quelque 9 % aux dépenses consenties par les pouvoirs publics dans le domaine de la recherche énergétique et du développement technologique en phase avec le marché. La Figure 4 présente l'évolution des dépenses des pouvoirs publics en faveur de la recherche énergétique entre 1990 et 2018. La part de l'OFEN dans le soutien apporté a baissé de 23,4 % (en 2000) à 9 % (en 2017).

Suite à l'accident de Fukushima (en 2011), on observe une augmentation continue des dépenses consacrées à la recherche énergétique par les pouvoirs publics: de 257 millions de francs par an (en 2013) à 404 millions de francs par an (en 2018). Les mesures décidées par le Conseil fédéral et le Parlement suite à l'accident de Fukushima, énumérées ci-après, ont constitué des facteurs importants. Les données entre parenthèses indiquent, en millions de francs, le budget approuvé entre 2013 et 2020 (elles ne correspondent donc pas aux montants effectivement versés).

- Réalisation des deux PNR «Virage énergétique» et «Gérer la consommation d'énergie» (45);
- contributions aux infrastructures de recherche (40) ou au développement des capacités en personnel (20) pour le domaine des EPF;
- augmentation de l'enveloppe budgétaire du programme pilote et de démonstration de l'OFEN (160);
- nouveau programme phare à l'OFEN (80);
- professeurs boursiers au FNS (24);
- moyens d'encouragement compétitifs pour des projets de recherche avec Innosuisse (65);
- développement des capacités en personnel pour huit SCCER (192).

Au total, 626 millions de francs ont donc été budgétés entre 2013 et 2020.

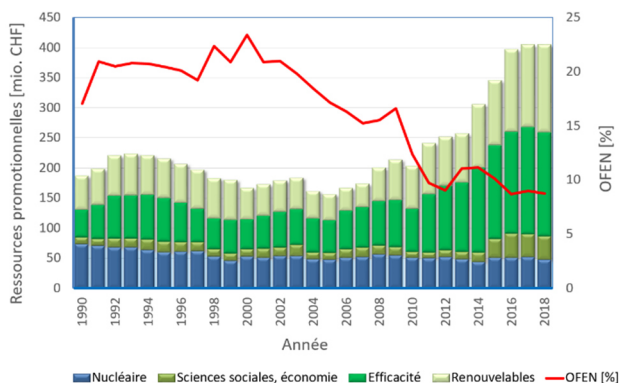


Figure 4 Évolution du soutien à la recherche énergétique par les pouvoirs publics. (Source: OFEN, sans correction du renchérissement)

La Figure 5 présente l'évolution des ressources à disposition de l'OFEN pour encourager la recherche et développement ainsi que pour les projets pilotes et de démonstration.

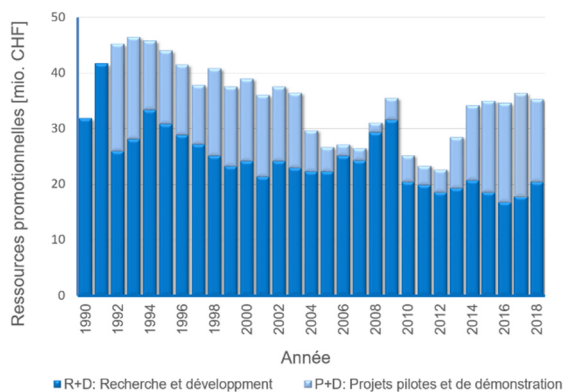


Figure 5 Évolution du soutien à la recherche énergétique par l'OFEN (Source: OFEN, sans correction du renchérissement)

4.2 Ressources planifiées pour la période 2021–2024

S'agissant de la planification budgétaire pour 2021-2024, l'OFEN part du principe que les ressources à sa disposition pour soutenir la recherche et le développement ne diminueront pas.

Le Tableau 1 présente les budgets prévus pour les projets de recherche, pour les projets pilotes et de démonstration ainsi que pour le programme d'encouragement SWEET durant la période 2021–2024.

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

L'attribution des budgets aux divers programmes de recherche de l'OFEN est maintenue aussi constante que possible durant toute la période comprise entre 2021 et 2024.

Les dépenses relatives aux projets de recherche dans les domaines d'ERA-Net (UE) et des accords bilatéraux (DACH, IPGT) sont couvertes par les programmes de recherche concernés. Le programme pilote et de démonstration de l'OFEN et SuisseEnergie participent de cas en cas aux financements des projets ERA-Net.

	2021	2022	2023	2024
Projets pilotes et de démonstration	28 000 000	28 000 000	28 000 000	28 000 000
Projets de recherche				
<i>Efficacité énergétique</i>	8 038 000	8 188 600	8 255 000	8 255 000
<i>Énergies renouvelables</i>	6 600 000	6 650 000	6 700 000	6 700 000
<i>Économie et société</i>	1 500 000	1 500 000	1 500 000	1 500 000
Recherche (total)	16 138 000	16 338 600	16 455 000	16 455 000
Programme d'encouragement SWEET	10 000 000	10 000 000	14 000 000	14 000 000
Coordination				
Projets de recherche ¹	2 208 000	2 208 000	2 208 000	2 208 000
SWEET	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000
Total	57 346 000	57 546 600	61 663 000	61 663 000

Tableau 1 Budgets planifiés par l'OFEN pour la période 2021–2024

Base: plan financier 2021–2024. Chaque budget annuel doit être approuvé par les Chambres fédérales.

¹ Y compris le coût de la participation aux programmes de recherche de l'AIE, notamment les mandats concernant des tâches de gestion (p. ex. agents opérationnels, présidents ou vice-présidents, etc.).

5 Acteurs et interfaces

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. À cet effet, 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 de l'importance pour la recherche énergétique.

5.1 Acteurs nationaux et interfaces

S'agissant des organisations privées, les contacts couvrent aussi bien les grandes entreprises dont les propres activités de recherche sont importantes (p. ex. ABB ou IBM) qu'une multitude de PME innovantes (p. ex. 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 (p. ex. La Poste, les CFF ou les entreprises d'approvisionnement en électricité telles qu'Axpo, BKW et divers services industriels municipaux). Les programmes de recherche de l'OFEN se répartissent sur l'ensemble du territoire suisse.

5.1.1 Interfaces avec les hautes écoles

La recherche énergétique de l'OFEN est étroitement interconnectée par ses programmes de recherche avec tous les instituts de recherche des hautes écoles suisses qui mènent des recherches dans le domaine de l'éner-

gie. Grâce aux séances de projet régulières, les responsables de programme de l'OFEN sont en contact étroit non seulement avec les chercheurs en charge de conduire les projets, mais aussi avec les partenaires de projet issus de l'économie et de l'industrie.

5.1.2 Interfaces avec les offices fédéraux

Nombre de thèmes de recherche comportent des interfaces avec divers offices fédéraux. Cette remarque vaut particulièrement pour la recherche énergétique. En voici quelques exemples:

- Problématique climatique: émissions de CO₂ dus aux processus basés sur la combustion dans les secteurs des transports, du bâtiment et de l'industrie;
- santé: particules fines émises par les chauffages au bois;

- aménagement du territoire: systèmes énergétiques dans les périmètres définis et les quartiers; planification d'installations géothermiques ou d'éoliennes.

Afin d'exploiter des synergies avec des projets de recherche d'orientation similaire, divers services fédéraux ont déterminé, en se fondant sur la Stratégie pour le développement durable, des thèmes de recherche intersectoriels pour lesquels il y a lieu d'examiner dans quelle mesure des appels d'offres conjoints seraient possibles.

Dans ce cadre, cinq domaines thématiques essentiels où la Confédération a établi des besoins de recherche et qui sont de grande importance pour plusieurs services fédéraux ont été identifiés:

- comportement durable;
- société de partage («sharing society»);
- sécurité des données;
- régions intelligentes;
- santé et environnement.

Durant la période 2021–2024, dans le cadre d'un projet pilote, des questions de recherche concernant la

thématique de la société de partage doivent faire l'objet d'un appel d'offres coordonné. Les questions qui intéressent concernent en particulier la conception politique, les opportunités et les risques, les effets de rebond, la gestion des données, le changement des comportements, les effets sur la consommation des ressources, la durabilité et les modèles d'affaires.

Sur la base des expériences acquises dans le cadre de ce projet pilote, les services fédéraux qui présentent un besoin de recherche explicite pour accomplir leurs tâches traiteront par étapes les quatre autres thèmes de recherche intersectoriels au cours de la période 2021–2024.

5.2 Coopération internationale

Agence internationale de l'énergie (AIE)

L'AIE revêt une importance cruciale pour la recherche énergétique de l'OFEN, qui s'y trouve représenté dans tous les organismes de direction intéressant la recherche énergétique.

Les projets de recherche proprement dits sont réalisés dans le cadre des TCP de l'AIE. L'OFEN prend part à la plupart des TCP non nucléaires. Le site web de la recherche énergétique de l'OFEN fournit une liste actuelle des personnes impliquées et des personnes de contact².

Commission européenne et coopérations multilatérales

La Commission européenne n'a pas associé la Suisse de plein droit au programme-cadre de recherche Horizon Europe. C'est pourquoi les chercheurs suisses ne peuvent plus participer en bénéficiant d'un soutien proprement dit à leur projet qu'en leur qualité de ressortissants d'un pays tiers¹⁷. En revanche, la participation à ERA-Net demeure possible.

Réseaux de l'espace européen de la recherche (ERA-Net)

L'objectif d'ERA-Net consiste à coordonner les programmes de recherche nationaux et régionaux et de renforcer l'espace européen de la recherche et de certains secteurs industriels déterminés en Europe. Les divers ERA-Net lancent des appels d'offres conjoints dans les pays impliqués. Pour des ERA-Net importants pour la recherche énergétique l'OFEN met à disposition les fonds nécessaires à la participation de chercheurs suisses.

CORNET

CORNET¹⁸ est l'acronyme de «Collective Research Networking», soit l'interconnexion des programmes nationaux et régionaux de la recherche communautaire. Actuellement, les ministères et les organisations de soutien de treize pays et régions y prennent part. CORNET organise chaque année deux appels d'offres dans le cadre desquels des consortiums de projet composés d'associations d'entreprises et d'institutions de recherche issues d'au moins deux pays ou régions impliqués peuvent soumettre leurs propositions de projets communs. L'attribution des ressources est soumise aux réglementations nationales/régionales en vigueur. L'OFEN soutient les partenaires CORNET de la Suisse dans le cadre de son mandat d'encouragement.

¹⁷ Les chercheurs suisses peuvent encore participer aux appels d'offres, mais la Suisse ne peut plus être prise en compte pour

atteindre le nombre minimum requis de trois pays. Les chercheurs doivent assurer eux-mêmes leur financement.

¹⁸ www.cornet.online.

Coopérations DACH

L'acronyme DACH, qui signifie Allemagne-Autriche-Suisse, comprend dans le domaine de la recherche énergétique deux protocoles d'accord («Memoranda of Understanding», MoU) sur les thématiques des réseaux intelligents («smart grids») et des cités et communautés intelligentes («smart cities and communities»).

L'objet de la coopération comprend l'échange d'informations et de connaissances de même que la coordination des mesures de politique d'encouragement.

Dans ce cadre, des projets communs concrets doivent être initiés, financés et réalisés. La participation de la Suisse aux coopérations DACH est assurée par l'OFEN.

Partenariat international pour la technologie géothermique

Depuis 2010, la Suisse est membre du Partenariat international pour la technologie géothermique («International Partnership for Geothermal Technology», IPGT)¹⁹, un forum réunissant des représentants des gouvernements et de l'industrie des États-Unis, d'Islande, d'Australie, de Nouvelle-Zélande et de la Suisse. D'importantes questions concernent par exemple la stimulation du système géothermique. Outre l'encouragement de projets communs de recherche, de développement et de démonstration, l'IPGT doit notamment mettre au point la recommandation concernant les coopérations multilatérales dans des domaines déterminés du développement technologique de la géothermie. Ce faisant, l'IPGT peut apporter une contribution essentielle pour intensifier la coopération entre chercheurs suisses et étrangers, initiant ainsi un transfert de savoir-faire à partir de projets de recherche de grande ampleur.

¹⁹ <http://internationalgeothermal.org>.

6 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, il 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).

6.1 Commissions d'accompagnement

L'OFEN est soutenu par la Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE), un organisme extraparlémentaire à vocation consultative pour les questions stratégiques. La CORE remanie notamment tous les quatre ans le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*, qui sert d'instrument de planification à toutes les instances d'encouragement de la Confédération. En outre, elle remplit une fonction d'orientation envers les services cantonaux et communaux chargés de mettre en œuvre des directives de politique énergétique ou qui disposent de leurs propres instruments d'encouragement de la recherche énergétique.

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, les universités et les cantons. Outre l'OFEN, l'OFEV, le SEFRI et Innosuisse y siègent en qualité d'observateurs. La liste complète et actualisée des membres de la CORE est disponible sur la page web de la recherche énergétique de l'OFEN². L'OFEN assume les tâches de secrétariat de la CORE. Normalement, la CORE se réunit à raison de quatre demi-journées par an et d'une retraite d'été de deux jours.

Les programmes de recherche de l'OFEN disposent de cas en cas de groupes d'accompagnement spécialisés.

6.2 Assurance de la qualité

En matière d'encouragement de la recherche, l'OFEN agit selon les directives d'assurance de la qualité qui prévalent pour la recherche de l'administration fédérale²⁰. Selon ces directives, l'assurance de la qualité comprend pour l'essentiel les trois domaines partiels suivants: gestion de la recherche, comptes rendus et évaluation de l'efficacité.

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, selon un formulaire d'évaluation de projet prescrit, 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 la hiérarchie effectue un dernier contrôle clôturé par une double signature.

²⁰ L'assurance de la qualité dans les activités de recherche de l'administration fédérale, comité de coordination de la recherche de

l'administration fédérale; <https://www.ressortforschung.admin.ch>.

Gestion de la recherche

L'évaluation des propositions de projet dans le domaine de la recherche et développement (R+D) passe par les directions des programmes de recherche, qui doivent s'associer à minima à un spécialiste supplémentaire. Les projets pilotes et de démonstration (P+D) sont évalués dans des groupes ad hoc spécialisés (avec le concours de collaborateurs de l'OFEN proches du marché).

La recherche énergétique de l'OFEN occupe 18 experts en interne (11 équivalents plein temps) et sept experts mandatés (3,5 équivalents plein temps). Ces experts évaluent et accompagnent les projets de recherche. Ils couvrent un large éventail de compétences scientifiques, sont pour la plupart titulaires du doctorat et disposent d'une grande expérience en gestion de projet.

Par ailleurs, entre autres possibilités de formation continue, l'OFEN propose à ses collaborateurs de la recherche énergétique de participer au cursus d'études du CAS²¹ en gestion de la recherche²², organisé par l'Université de Berne, ou à certains de ses modules.

Comptes-rendus

Les projets de recherche de même que les projets pilotes et de démonstration bénéficiant d'un soutien financier de la part de l'OFEN sont enregistrés dans la banque de données de la Confédération ARAMIS²³, qui est accessible au public. Certains projets P+D soutenus par l'OFEN sont présentés sur la carte Cleantech de l'OFEN²⁴. Parallèlement, les programmes de recherche de l'OFEN organisent régulièrement des journées 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 dépenses consenties par les pouvoirs publics pour la recherche énergétique (www.energie-forschung.ch). L'OFEN a institué un service de transfert de savoir et de technologie pour diffuser les résultats de recherche (point 6.3).

Évaluation de la recherche énergétique

D'une part, la CORE est chargée de prendre position quant à la recherche énergétique de l'OFEN. D'autre part, tant le programme pour les projets pilotes et de démonstration (2018) que la recherche énergétique (2018) ont fait l'objet d'évaluations externes entre 2017 et 2020.²⁵

6.3 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. Les quatre axes principaux du programme TST de l'OFEN sont l'encouragement des efforts d'innovation, le rôle de catalyseur, la coordination et l'information.

Le transfert de connaissances issues des projets de recherche, des projets pilotes et de démonstration de l'OFEN se concrétise notamment par la publication d'articles spécialisés²⁶ et de clips d'information²⁷. Ceux-ci décrivent succinctement les éléments observés et les

points de référence. Ils s'adressent en premier lieu aux entreprises, aux communes et aux villes susceptibles de mettre en œuvre les nouvelles connaissances ainsi qu'aux journalistes scientifiques. Les articles spécialisés sont formulés pour être compris par tout un chacun et ils se prêtent de ce fait au transfert de savoir à un large public et non pas seulement à des spécialistes. Les nouveaux articles spécialisés sont annoncés par un canal Twitter²⁸ très utilisé par les journalistes scientifiques et les entreprises.

²¹ CAS: Certificate of Advanced Studies.

²² www.forschungsmanagement.unibe.ch.

²³ 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).

²⁴ www.bfe.admin.ch/geoinformation.

²⁵ www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geo-daten/evaluationen.html.

²⁶ www.bfe.admin.ch/ct/printmedien.

²⁷ www.bfe.admin.ch/infoclips.

²⁸ www.twitter.com/bfecleantech.

L'OFEN encourage le TST également au travers de groupes d'innovation et par un concours entre les jeunes pousses. En coopérant avec des partenaires externes tels energie-cluster.ch²⁹, le programme TST réunit les entreprises et les hautes écoles dans des domaines spécifiques au sein de groupes d'innovation. Dans ce cadre, de nouveaux projets innovants sont initiés, les principes de meilleure pratique quant aux aspects énergétiques sont définis et des activités et stratégies communes sont développées. Des groupes d'innovation sont actifs dans les domaines suivants: isolation thermique à haute performance, bâtiment à bilan énergétique positif, ventilation, domotique, stockage de la chaleur et échangeur de chaleur.

La recherche énergétique de l'OFEN organise deux fois par an une conférence des directions de programme, afin d'assurer la coordination entre les activités proches du marché et de recherche de l'OFEN et les autres acteurs suisses importants dans le domaine de la recherche énergétique (p. ex. domaine des EPF, hautes écoles spécialisées, universités, Innosuisse, SEFRI, Euresearch).

Les congrès spécialisés et les symposiums constituent un important instrument de TST dans le domaine des

programmes de recherche. Les programmes de recherche de l'OFEN disposent pour une part de manifestations établies telles que la journée sur la combustion, la conférence sur les pompes à chaleur, le symposium photovoltaïque national, le séminaire sur l'état de la recherche pour le bâtiment ou la journée de la recherche sur la bioénergie, qui se déroulent annuellement ou bi-annuellement et s'adressent au public professionnel de la science et de l'industrie. L'OFEN organise régulièrement des conférences en lien avec les TCP de l'AIE, afin de transmettre aux chercheurs suisses les nouveaux éléments provenant des programmes de recherche internationaux de l'AIE. En outre, pour consolider le contact entre les participants suisses aux programmes de recherche de l'AIE, des rencontres de mise en réseau ont régulièrement lieu, auxquelles des TCP groupés thématiquement sont invités pour enrichir les échanges.

Afin de présenter les objectifs de la Confédération dans le domaine de la recherche énergétique à une large communauté de chercheurs, des conférences sur la recherche énergétique sont organisées tous les quatre ans. À cette occasion, la CORE présente et discute le futur plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération.

²⁹ www.energie-cluster.ch.

Glossaire

ACV	Analyse du cycle de vie («life cycle analysis», LCA)	OFEN	Office fédéral de l'énergie
AEN	Agence de l'énergie nucléaire	OFEV	Office fédéral de l'environnement
AGNEB	Groupe de travail de la Confédération pour la gestion des déchets nucléaires	OME	Polyoxyméthylendiméthyléther
AIE	Agence internationale de l'énergie	OSOA	Ordonnance sur les ouvrages d'accumulation
ARAMIS	Administration Research Actions Management Information System	PEFC	Polymer electrolyte fuel cells
BioCCS	Bioenergy and carbon capture and storage	PEM	Polymer electrolyte membrane
BioCCU	Bioenergy and carbon capture and utilization	PERC	Passivated Emitter and Rear Contact
CAS	Certificate of Advanced Studies	PNR	Programme national de recherche
CCF	Couplage chaleur-force	Projet P+D	Projet pilote et de démonstration
CIGS	Cuivre-indium-gallium-selenium	PSI	Institut Paul Scherrer
CORE	Commission fédérale pour la recherche énergétique	PtX	Power to X
CORNET	Collective Research Networking	PVIB	Photovoltaïque intégré au bâtiment
CSN	Commission fédérale de sécurité nucléaire	PV/T	Photovoltaïque-thermique
DME	Diméthyléther	RS	Recueil systématique du droit fédéral
EPFL	École polytechnique fédérale de Lausanne	SCCER	Swiss Competence Centers for Energy Research
EPFZ	École polytechnique fédérale de Zurich	SEFRI	Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation
ERA-Net	European Research Area Networks	SOEC	Solid oxide electrolysis cells
ESP	Énergie solaire à concentration	SOFC	Solid oxide fuel cells
FNS	Fonds national suisse de la recherche scientifique	SPC	Swiss Plasma Center
Horizon2020	Programme-cadre de recherche de l'UE	STE	Solar Thermal Electricity
HVH	Huiles végétales hydrotraitées	SWEET	Swiss Energy research for the Energy Transition
IBC	Interdigitated back contact	TCP	Technology Collaboration Programme
IFSN	Inspection fédérale de la sécurité nucléaire	TIC	Technologies de l'information et de la communication
Innosuisse	Agence suisse pour l'encouragement de l'innovation	TST	Transfert de savoir et de technologie
IPGT	International Partnership for Geothermal Technology	UE	Union européenne
LEne	Loi sur l'énergie	V2G	Vehicle to grid
LENu	Loi sur l'énergie nucléaire	V2H	Vehicle to home
LERI	Loi fédérale sur l'encouragement de la recherche et de l'innovation		
LSu	Loi sur les subventions		
MDB	Modélisation des données du bâtiment		
MOPeC	Modèle de prescriptions énergétiques des cantons		
Nagra	Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs		
NMT	Niveau de maturité technologique		
OENu	Ordonnance sur l'énergie nucléaire		

Office fédéral de l'énergie
Mühlestrasse 4
CH-3603 Ittigen
Adresse postale: CH-3003 Berne

Téléphone: +41 48 462 56 11
Fax: +41 48 462 25 00

contact@bfe.admin.ch
www.energieforschung.ch