Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC

**Commission fédérale de la recherche énergétique CORE**

# Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2017–2020

Élaboré par la
Commission fédérale de la recherche énergétique CORE

**Impressum**

Etat ..... mars 2016

Editeur ..... Commission fédérale de la recherche énergétique CORE

Direction ..... Tony Kaiser, président CORE

Auteurs
Partie générale ..... Katja Maus et Rolf Schmitz
Aspects socio-économiques ..... Anne-Kathrin Faust
Travail et habitat ..... Andreas Eckmanns
Mobilité ..... Martin Pulfer et Katja Maus
Systèmes énergétiques ..... Gunter Siddiqi
Processus ..... Stephan Renz

Avec le concours et la participation de toutes les directions des SCCER

Secrétariat CORE
c/o Office fédéral de l'énergie
CH-3003 Berne
Tél. + 41 58 462 39 78

www.ofen.admin.ch
Commande de la publication ..... www.recherche-energetique.ch

# Sommaire

**Vision** ..... 4

**Recherche pour un brillant avenir énergétique** ..... 5

**Contexte de la politique de recherche** ..... 7

**Les priorités de la recherche en contexte** ..... 9

**Aspects socio-économiques et réglementaires** ..... 11

**Travail et habitat de demain** ..... 15

**Mobilité de demain** ..... 24

**Systèmes énergétiques de demain** ..... 30

**Processus de demain** ..... 38

**Recommandations pour la politique de recherche** ..... 46

# Vision

En apportant une contribution importante à des modes de transformation, de stockage, de fourniture et d'utilisation de l'énergie qui soient performants et peu polluants, la recherche énergétique suisse promeut un approvisionnement énergétique sûr, économiquement et écologiquement supportable. En outre, elle soutient une politique de l'énergie efficace.[1]



*[1] Le présent Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération repose sur la présente vision. Celle-ci a été élaborée par la Commission fédérale de la recherche énergétique CORE et est soutenue conjointement par la communauté des chercheurs suisses.*

# Recherche pour un brillant avenir énergétique

Le Conseil fédéral et le Parlement ont décidé que la Suisse sortirait du nucléaire à moyen terme. A cette fin, l'Office fédéral de l'énergie a élaboré la *Stratégie énergétique 2050*[2]. Avec la *Stratégie énergétique 2050*, la Suisse s'est fixée des objectifs d'efficacité ambitieux tant pour l'utilisation de l'énergie fossile que pour la consommation d'électricité. La production d'électricité issue de sources renouvelables – photovoltaïque, éolien, biomasse et géothermie – doit augmenter fortement et remplacer dans une large mesure l'électricité qui ne sera plus produite par les centrales nucléaires. Par rapport à aujourd'hui, la *Stratégie énergétique 2050* signifie presque doubler l'efficacité énergétique et diminuer la consommation d'électricité de près de 10–20% par habitant. La Suisse s'est en outre engagée sur le plan international à réduire les émissions de gaz à effet de serre. La politique climatique suisse exige une réduction de 20% de ces émissions par rapport à 1990[3] à l'horizon 2020.

**Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération**

Le présent Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération est une vision de la communauté des chercheurs suisses qui contient des recommandations pour la recherche énergétique financée par des fonds publics en Suisse. Il décrit aussi les objectifs de recherche qui sont importants pour soutenir la *Stratégie énergétique 2050*.

Approuvé par le Conseil fédéral et le Parlement, le plan directeur est ainsi un instrument de planification au service de toutes les instances de promotion de la Confédération. Mais il sert aussi de moyen d'information pour les organes cantonaux ou communaux qui disposent de leurs propres instruments d'encouragement de la recherche énergétique.

Le présent Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération concerne la période 2017–2020. Il a été rédigé par la CORE en tenant compte des avis des principaux représentants issus du domaine de la recherche énergétique en Suisse. Il se fonde sur les connaissances scientifiques récentes reconnues sur le plan international et prend en considération les objectifs de politique énergétique de la Suisse.

Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)[4], il est particulièrement urgent pour la planète dans son ensemble de gérer l'énergie de manière efficace, écologique et faible en émissions. Le rapport 2014 du GIEC esquisse différentes options avec lesquelles il serait éventuellement possible de limiter le réchauffement planétaire à 2 °C. Les plans actuels de réduction ne sont pas suffisants pour y parvenir. Dans les scénarios étudiés par le GIEC, il faudrait que les émissions mondiales de gaz à effet de serre rejetées dans tous les domaines diminuent de 40 à 70% d'ici 2050 par rapport à leur niveau de 2010 pour espérer maintenir l'augmentation de la température en dessous de 2 °C. Les scénarios du GIEC prévoient tant l'accélération de l'amélioration de l'efficacité énergétique qu'une part trois à quatre fois plus grande d'approvisionnement énergétique sans carbone ou à faible émission de carbone au moyen des énergies renouvelables, de l'énergie nucléaire et de l'énergie fossile couplée au captage et au stockage du carbone (CSC). Le GIEC propose aussi la bioénergie avec CSC à l'horizon 2050. Avec ces mesures, les émissions mondiales de $CO_2$ diminueraient dans le secteur de l'approvisionnement énergétique cette prochaine décennie et reculeraient entre 2040 et 2070 de 90% par rapport au niveau de 2010.

Outre la *Stratégie énergétique 2050* de la Confédération, deux visions à long terme élaborées par les EPF marquent le débat sur l'avenir énergétique en Suisse: la première, celle de la société à 2000 watts, met l'accent sur l'efficacité énergétique. Elle part de l'hypothèse que pour assurer un avenir durable, il faut réduire dans le monde entier le besoin d'énergie primaire par personne à un niveau correspondant à une puissance continue de 2000 watts par personne d'ici 2100. En 2012, cette valeur se montait en Suisse à 6'500 watts, sans compter l'énergie grise.

La seconde vision, celle d'une société à une tonne de $CO_2$ (par personne et par an), tolère une consomma-



*[2] www.bfe.admin.ch/themen/00526/00527/index.html?lang=fr (Stratégie énergétique 2050), [3] www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/20091310/201301010000/641.71.pdf (loi sur le CO2 révisée à partir du 1.1.2013), [4] GIEC: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, www.ipcc.ch*

tion d'énergie plus importante, pour autant que cette consommation soit couverte avec des énergies renouvelables. Dans ces deux visions, les émissions polluantes et les déchets doivent être non problématiques pour l'être humain et pour l'environnement et les flux de matériaux liés à la fourniture d'énergie sensiblement réduits par rapport à aujourd'hui et fermés.

Les objectifs pragmatiques fixés pour 2050 par la CORE dans les précédents Plans directeurs de la recherche énergétique vont dans ce sens et ont aussi été confirmés par la *Stratégie énergétique 2050*:

– Suppression du recours aux combustibles fossiles pour la production de chaleur dans les bâtiments (existants ou à construire)
– Diminution de moitié de la consommation d'énergie primaire dans les bâtiments par rapport à aujourd'hui (consommation actuelle: 500 PJ par an);
– Triplement du recours à la biomasse en tant que source d'énergie (utilisation actuelle: 37 PJ par an)
– Réduction de la consommation moyenne d'énergies fossiles par les voitures de tourisme à 3 l aux 100 km (consommation actuelle: 6 l aux 100 km)

**La Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE)**

La CORE a été instituée en 1986 par le Conseil fédéral à titre d'organe consultatif dans le domaine de la recherche énergétique. Parmi d'autres tâches, elle élabore tous les quatre ans le Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération, supervise la recherche énergétique menée en Suisse et donne son avis sur la recherche énergétique de l'administration fédérale. La CORE comprend 15 membres représentant l'industrie, la science et la politique. La liste actuelle des membres est disponible sur **www.recherche-energetique.ch**.

La CORE énonce comme principal objectif le développement interdisciplinaire de technologies énergétiques nouvelles, réalisables et ainsi acceptées. Par conséquent, l'importance croissante des technologies transversales requiert un renforcement de la collaboration tant entre les domaines techniques de la recherche qu'entre les disciplines techniques et celles non techniques.

| **Chiffres indicatifs [TWh]** | **2010** | **2050** | **Δ** |
|---|---|---|---|
| Consommation totale d'énergie | 233.6 | 125.3 | -108.3 |
| Consommation totale d'électricité | 59.8 | 53.1 | -6.7 |
| dont ménages | 18.6 | 13.4 | -5.2 |
| dont mobilité | 3.2 | 11.4 | 8.2 |
| dont industrie | 19.3 | 12.6 | -6.7 |
| Production d'électricité renouvelable | 36.5 | 62.7 | 26.2 |
| dont hydraulique | 35.1 | 38.5 | 3.4 |
| dont photovoltaïque | 0.1 | 11.1 | 11.0 |
| dont géothermie | 0.0 | 4.4 | 4.4 |
| dont éolien | 0.0 | 4.3 | 4.2 |
| dont biomasse/biogaz | 0.2 | 2.8 | 2.6 |
| autres | 1.0 | 1.6 | 0.6 |

*Ausgewählte Kennzahlen der Schweiz bezüglich Energieverbrauch und Stromproduktion für die Jahre 2010 und 2050 (Energiestrategie 2050); https://www.admin.ch/opc/de/federal-gazette/2013/7561.pdf*
*1 TWh = 1 Milliarde kWh und 1 TWh = 3.6 PJ*

# Contexte de la politique de recherche

Dans le cadre de la *Stratégie énergétique 2050*, le Conseil fédéral et le Parlement ont approuvé le Plan d'action Recherche énergétique suisse coordonnée[5] élaboré en sus du plan directeur de la recherche énergétique pour la législature 2013–2016. Ce plan d'action soutient les objectifs et ainsi la mise en œuvre de la *Stratégie énergétique 2050* par le renforcement des capacités de recherche dans les universités et dans les hautes écoles spécialisées dans le domaine de la recherche énergétique appliquée. Les objectifs du plan d'action comprennent les technologies d'efficacité, les systèmes énergétiques, les réseaux et le transport d'électricité, la fourniture d'électricité, le stockage de l'énergie ainsi que des aspects socio-économiques et juridiques. Les sciences sociales ont ainsi également un rôle important à jouer dans la mise en œuvre de la *Stratégie énergétique 2050*.

Huit pôles de compétence en recherche énergétique de la Confédération (Swiss Competence Centers for Energy Research, SCCER) ont été créés et leurs objectifs scientifiques définis dans le cadre d'un appel d'offres public afin de mettre en œuvre le plan d'action. Le Parlement a affecté 72 millions de francs à ce renforcement des capacités dans les hautes écoles et dans les universités durant la législature 2013–2016. D'autres fonds ont été alloués durant cette période à des projets d'infrastructure dans le domaine des EPF, à la promotion de projets supplémentaires et à des professeurs boursiers. Au total, 200 millions ont ainsi été attribués au plan d'action.

Outre la promotion déjà mentionnée, le Conseil fédéral a approuvé des mesures supplémentaires: les moyens financiers de l'Office fédéral de l'énergie pour les projets pilotes et de démonstration[6] ont été nettement revus à la hausse, un programme d'encouragement pour les projets phares[7] et deux programmes nationaux de recherche[8] (PNR) du FNS[9] intitulés «Virage énergétique» et «Gérer la consommation d'énergie» ont été lancés.

Le message FRI 2017–2020 demande au Parlement de maintenir les pôles de compétence et leur financement durant la prochaine législature[10]. Les recommandations pour les objectifs scientifiques sont intégrées dans le présent nouveau plan directeur.

Après 2020, ces pôles de compétence devront être soutenus par les hautes écoles et par les universités participantes.

**Recherche énergétique et innovation**

La Suisse fait partie des pays les plus innovants au monde et occupe une position de pointe depuis plusieurs années selon différentes études. Dans l'Indice mondial 2014 de l'innovation (Global Innovation Index 2014)[11], elle est classée dans les 10 meilleurs au monde; dans l'étude réalisée en 2013 par le Centre de recherches conjoncturelles de l'EPFZ (KOF) sur mandat du Secrétariat d'État à l'économie SECO[12], elle reste l'une des économies les plus innovantes en Europe et dans le tableau de bord de l'innovation (Innovation Union Scoreboard)[12] de l'UE, elle se hisse même à la première place en Europe.

De nombreux paramètres sont mesurés et comparés pour déterminer la capacité d'innovation d'un État, notamment les activités et les résultats des entreprises, les ressources humaines, les systèmes de recherche ouverts, excellents et attractifs ainsi que le financement et l'encouragement de la recherche.

C'est pourquoi il faut poursuivre les efforts pour maintenir la position de la Suisse en tant que pôle de recherche, et donc aussi la recherche énergétique, à son haut niveau actuel.

*5) https://www.admin.ch/opc/fr/federal-gazette/2012/8331.pdf (Message relatif au plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée», 2013-2016), 6) De CHF 5 millions de francs en 2012 à CHF 25 millions de francs en 2016, 7) CHF 10 millions de francs par an de 2014 à 2020, 8) CHF 45 millions de francs au total, 9) FNS: Fonds national suisse, 10) Citation si le message est déjà élaboré et connu. Adoption prévue en mai 2016. Le texte devrait être connu avant, 11) www.globalinnovationindex.org/content.aspx?page=GII-Home, 12) http://www.kof.ethz.ch/fr/medias/communiques-de-presse/k/communiques-de-presse-ulterieurs/1108/2013/04/etude%20sur%20l'innovation/*

– La Suisse requiert des mesures efficaces de promotion de l'innovation et une bonne collaboration entre les hautes écoles et les entreprises, notamment une réglementation simple de toutes les questions de propriété intellectuelle
– Les avis exprimés dans la littérature sur le rôle que doit jouer l'État dans la promotion de l'innovation divergent. Il est recommandé à la Suisse de suivre une politique pragmatique[13, 14] à mi-chemin entre les positions opposées qui prônent de mener une forte politique industrielle, d'une part, et de se limiter à établir des conditions-cadres adéquates, d'autre part

La Suisse a besoin de «systèmes symbiotiques» ouverts pour la recherche et le développement afin de conserver sa force d'innovation. Dans le domaine de la recherche énergétique, les pôles de compétence en recherche énergétique (SCCER) en sont un bon exemple. Ils encouragent autant la collaboration entre le domaine des EPF, les hautes écoles spécialisées et les universités qu'avec l'industrie, soutenant ainsi le transfert des technologies entre le monde de la recherche et celui de l'économie.

**Transfert des connaissances et des technologies**

Il est essentiel que les hautes écoles transfèrent leurs connaissances et leurs technologies à l'industrie afin que les résultats obtenus dans la recherche apportent une valeur ajoutée sur le marché. Ce transfert peut être assuré par les installations pilotes et de démonstration qui devraient être planifiées à un stade précoce avec l'industrie, car elles permettent d'évaluer la faisabilité technique des projets ainsi que les possibilités de réalisation à plus grande échelle avec pour objectif de réduire le risque pour les investisseurs privés.

Les connaissances doivent aussi être transmises et appliquées, d'où l'importance de la formation des scientifiques et des techniciens.

**Intégration internationale**

La collaboration internationale en matière de recherche favorise la qualité de la recherche et l'efficacité des ressources allouées à la recherche. Pour que cette coopération soit fructueuse, il faut que la Suisse participe activement aux programmes internationaux, notamment en tant que pays associé aux programmes-cadres de recherche de l'UE, et que sa contribution soit de haute qualité et reconnue.

Par conséquent, la participation de chercheurs suisses aux activités de recherche de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et de l'UE doit avoir la priorité absolue. Mais la collaboration internationale et l'échange de chercheurs doit aussi s'étendre au-delà de l'UE et des pays industrialisés et inclure les pays en développement. C'est pourquoi il y a lieu d'assurer et de renforcer cette coopération via les services fédéraux responsables que sont le Secrétariat d'État à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI) et l'Office fédéral de l'énergie (OFEN).

L'économie suisse, fondée sur le savoir, est également tributaire des «étudiants scolarisés à l'étranger». La relève des professions académiques, des dirigeants ou cadres supérieurs et des collaborateurs employés dans le domaine des prestations basées sur le savoir ne peut pas être assurée sans eux. Même si le taux d'emploi stagne, la Suisse a besoin de main-d'œuvre étrangère qualifiée, bénéficiant d'une formation universitaire, qui renforce le réseau mondial de la recherche (énergétique) suisse[15].



*[13] B. Hotz-Hart et A. Rohner, «Wirkungen innovations-politischer Fördermassnahmen in der Schweiz», Berne 2013, [14] M. Mazzucato, «Das Kapital des Staates», Kunstmann, Munich 2014, [15] B. Hotz-Hart, «L'économie suisse, fondée sur le savoir, est tributaire des étudiants scolarisés à l'étranger», La Vie économique 6–2011, p. 47*

# Les priorités de la recherche en contexte

La recherche énergétique doit s'appuyer sur une approche globale et être axée sur le développement durable. Le présent Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération prend par principe en considération l'ensemble de la chaîne de création de valeur Recherche – Innovation – Marché et vise avec la recherche énergétique financée par les pouvoirs publics, outre des résultats de haute qualité, bien entendu aussi une utilité économique.

**Technique**
Pour toutes les applications techniques destinées à fournir, à transformer, à stocker et à utiliser l'énergie, il faut tendre à se rapprocher le plus possible, pour autant que cela soit faisable économiquement, de leur potentiel technique. Les nouvelles possibilités offertes par la numérisation doivent être exploitées transversalement dans toutes les priorités thématiques.

**Ressources**
Pour la CORE, la recherche énergétique doit miser avant tout sur la mise au point de technologies nouvelles et sur l'amélioration des technologies existantes en vue d'augmenter l'efficacité énergétique, de promouvoir l'utilisation rationnelle des ressources et le recours accru aux énergies renouvelables.

Ces avancées technologiques entraîneront automatiquement une réduction des émissions polluantes.

**Économie et économie nationale**
Le présent Plan directeur de la recherche énergétique vise aussi à améliorer et à garantir à long terme la sécurité d'approvisionnement de la Suisse, à assurer au pays une création de valeur sous la forme d'emplois, de savoir-faire ou de nouveaux produits commercialisables afin de rendre la Suisse plus compétitive sur la scène internationale.

**Société et comportement**
Il est nécessaire de répondre à certaines questions à propos de l'acceptation des nouvelles technologies ou des incitations destinées à accélérer leur pénétration sur le marché. On étudiera pour cela la fourniture, la transformation, le stockage et l'utilisation de l'énergie dans leurs aspects économiques, sociologiques et psychologiques, ou encore politologiques. Enfin, la recherche énergétique doit notamment contribuer à faire comprendre que les mesures techniques ne suffisent pas à elles seules à mettre en œuvre une politique énergétique nationale ou une politique climatique mondiale. Des changements de comportement sont aussi indispensables pour une utilisation durable de l'énergie.

**Aspects socio-économiques et réglementaires**
Pour les raisons évoquées précédemment – à savoir que la technique et la société sont indissociables – le présent plan directeur présente des réflexions et pose des questions avant d'aborder les priorités techniques. Ces aspects «non techniques» sont, lorsqu'ils sont spécifiques à une technologie, traités dans les différentes priorités thématiques. Néanmoins, lorsqu'ils sont transversaux, ils ont leur propreplace dans les questions primordiales.

**Quatre priorités thématiques**
La CORE a sélectionné quatre priorités thématiques techniques qui recouvrent tous les principaux domaines de la recherche énergétique et qui reflètent la vie quotidienne et les aspects de la production et de l'utilisation de l'énergie s'y rapportant. Les visions découlant de ces priorités thématiques doivent permettre d'esquisser les grands axes de la recherche selon une approche descendante, de renforcer la pensée systémique et de promouvoir la recherche interdisciplinaire.

Cette approche globale et appliquée de la recherche énergétique englobe aussi des questions relevant des sciences sociales, du droit, de l'économie et de la psychologie. C'est pour cette raison que ces aspects sont traités depuis peu aussi au SCCER CREST «Society and Transition» et dans le cadre du programme national de recherche PNR 71 «Gérer la consommation d'énergie».

**Les priorités thématiques**

**Travail et habitat de demain**
Le parc immobilier suisse devra à l'avenir être exploité

de manière énergétiquement efficace et neutre en termes d'émissions. Il contribuera activement à aligner la consommation à l'offre d'électricité. Les besoins humains en matière de travail et d'habitat seront satisfaits de sorte à préserver les ressources.

### Mobilité de demain

La télématique des transports, des techniques de propulsion avancées et des véhicules sans conducteur participent à une mobilité attrayante, performante et peu polluante, ce qui contribue fortement à l'économie et au développement. L'un des buts poursuivis est de diminuer substantiellement à l'avenir la consommation d'énergie totale ainsi que les émissions polluantes et celles qui affectent le climat, malgré la croissance de la mobilité. Pour y parvenir, il convient d'encourager la recherche et le développement dans le domaine des technologies de transport ultraperformantes et des technologies mobiles de stockage et de comprendre les obstacles aux nouvelles formes de mobilité.

### Systèmes énergétiques de demain

Les réseaux de systèmes énergétiques constituent la base d'un approvisionnement énergétique sûr, fiable et durable. La mise en réseau des systèmes énergétiques est un élément essentiel pour une politique énergétique efficace, notamment pour la *Stratégie énergétique 2050*. Les objectifs sont d'augmenter l'efficacité, de réduire au minimum les potentiels énergétiques non exploités, les nuisances pour l'environnement (déchets) et les risques pour la population. La conception des systèmes partiels et l'optimisation de leur interopérabilité soulèvent de nombreuses questions de recherche qui représentent un large champ d'innovation.

### Processus de demain

Des processus de développement intégrant l'écobilan ou analyse du cycle de vie (ACV)[16] recourent à des procédés et à des matériaux nouveaux pour élaborer des produits commercialisables en utilisant les ressources de manière optimale. La consommation d'énergie et de matériaux des installations de production est réduite au minimum par des composants à haute efficacité. Les technologies de l'information aident à intégrer les processus jusqu'à l'optimisation énergétique des produits en exploitation. Les matières premières renouvelables et aisément recyclables sont utilisées en priorité. L'objectif est de laisser une empreinte écologique la plus faible possible.

## Horizons temporels des objectifs de recherche recommandés

Dans les chapitres suivants, des priorités et des objectifs sont définis pour chacune des priorités thématiques, avec deux horizons temporels distincts:

- priorités de recherche à moyen et à long terme (horizon 2020–2050)
- objectifs à court terme pour la période couverte par le présent Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2017–2020



[16] *LCA: Life-cycle assessment*

# Aspects socio-économiques et réglementaires

L'un des objectifs poursuivis est de diminuer substantiellement à l'avenir la consommation d'énergie et les émissions de $CO_2$, malgré la croissance économique. Pour y parvenir, il est nécessaire de découpler davantage la croissance et la prospérité de la consommation d'énergie. Le système énergétique doit en outre être transformé en vue de la sortie progressive du nucléaire et du recours accru aux énergies renouvelables. Cette transformation devrait autant que possible être efficace du point de vue économique et bien acceptée par la société.

La *Stratégie énergétique 2050* du Conseil fédéral prévoit de sortir progressivement du nucléaire tout en respectant les objectifs climatiques et en maintenant le haut niveau de sécurité d'approvisionnement en Suisse. L'atteinte de ces objectifs nécessite d'améliorer l'efficacité énergétique et de développer la production d'origine renouvelable. Pour ce faire, il est indispensable de développer des solutions techniques, mais le progrès technologique ne suffira pas à lui seul. Outre une transformation du système énergétique, la mise en œuvre de la *Stratégie énergétique 2050* requiert un changement de paradigme dans la consommation d'énergie et donc une modification du comportement des acteurs. L'approche centrée sur l'utilisation nécessite de nouveaux concepts et des adaptations structurelles dans les domaines des infrastructures, de l'économie, de la politique mais aussi des normes sociales dominantes et des comportements.

Le but de la recherche psychologique, socio-économique et réglementaire est de mieux comprendre le comportement des acteurs et le fonctionnement des marchés, et de comparer les potentiels et les coûts de différentes mesures. Elle devrait en outre avoir pour objectif une vision globale de la transformation du système énergétique et une meilleure compréhension des interconnexions et des interactions de différentes mesures et modes de comportements.

La société et la technique sont interdépendantes et indissociables. Afin que les solutions techniques contribuent à l'utilisation durable de l'énergie, il convient d'intégrer dans leur développement les aspects scientifiques pertinents du contexte social, économique et politique. C'est la raison pour laquelle des questions socio-économiques continuent d'être soulevées directement dans les différentes priorités techniques du présent Plan directeur de la recherche énergétique lorsqu'elles sont spécifiques à une technologie ou particulièrement pertinentes pour une technologie.
Une approche purement technique comporte cependant le risque que la recherche manque d'interdisciplinarité. Les facteurs déterminant le comportement des propriétaires immobiliers aussi producteurs d'électricité sont par exemple cruciaux tant pour l'efficacité énergétique de l'habitat que pour l'architecture des systèmes énergétiques et le développement des réseaux. De même, beaucoup d'instruments et de mesures politiques ont des effets qui dépassent le cadre de leur champ thématique et qui devraient par conséquent aussi être étudiés dans une perspective globale.

De plus, l'étude des aspects socio-économiques dans une perspective globale donne également l'opportunité d'exploiter des synergies pour répondre à différentes questions. Il est ainsi possible d'éviter que chaque domaine technique étudie par exemple la question de l'acceptation de la technologie séparément alors qu'une approche englobant toutes les technologies serait plus efficace. Enfin, certains thèmes importants relevant à l'origine des sciences sociales et économiques ne se laissent que difficilement intégrer dans les priorités techniques, par exemple les analyses des marchés de l'énergie ou l'élaboration de modèles macroéconomiques visant à analyser la politique énergétique.

Outre les solutions techniques, la transformation du système énergétique requiert aussi que les acteurs modifient leur comportement. Il convient ainsi d'élaborer des instruments et mesures politiques et réglementaires et de créer des conditions-cadres favorisant cette

transformation. A ces fins, la recherche psychologique, socio-économique et réglementaire est indispensable. La plus grande valeur accordée à ces types de recherche énergétique se reflète déjà aujourd'hui dans le paysage de la recherche suisse, notamment par la mise en place du programme national de recherche (PNR) 71 «Gérer la consommation d'énergie» et du pôle suisse de compétence en recherche énergétique CREST (Competence Center for Research in Energy, Society and Transition) qui se consacrent jusqu'en 2020 aux questions socio-économiques et réglementaires dans le domaine de l'énergie. Néanmoins, il est aussi nécessaire de mener au-delà de cette période des recherches, notamment dans les domaines de la consommation d'énergie et du comportement individuel, des entreprises et des marchés ainsi que des mesures et des instruments de politique énergétique et environnementale.

## Priorités à moyen et à long terme

**Consommation d'énergie et comportement individuel**

La réduction visée de la consommation d'énergie passe par une modification du comportement individuel. Dans cette priorité, le comportement des différents acteurs doit être analysé des points de vue psychologique, sociologique et microéconomique et des recommandations d'action doivent être formulées. La recherche dans ce domaine sert à mieux comprendre les motivations des différents acteurs et les effets d'instruments spécifiques de politique énergétique. L'objectif est d'analyser les facteurs psychologiques, économiques et sociaux déterminant la demande d'énergie ainsi que les processus individuels de décision et les processus de dynamique de groupe afin d'élaborer des mesures susceptibles de contribuer à réduire la consommation individuelle d'énergie.

Dans ce contexte, il convient notamment d'étendre les études dédiées aux interactions entre les mesures et aux effets de rebond.

**Entreprises et marchés**

Cette priorité se concentre sur le comportement des entreprises en matière d'énergie et sur le fonctionnement des marchés. Les entreprises sont des acteurs importants, leurs stratégies influencent le comportement des consommateurs, et leurs décisions d'investissement ont une influence considérable sur le développement de nouvelles infrastructures énergétiques. Il est nécessaire d'effectuer des recherches sur les mesures d'adaptation des entreprises et sur l'élaboration de conditions-cadres qui encouragent l'innovation et le progrès technologique en matière d'efficacité énergétique. La conception des marchés de l'énergie joue en outre un rôle-clé dans la transformation des systèmes énergétiques. C'est pourquoi il faudrait étudier des conceptions efficaces des marchés de l'énergie ainsi que l'influence de la conception des marchés sur la promotion des énergies renouvelables.

**Mesures et instruments de politique énergétique et environnementale**

Cette priorité comprend l'analyse macroéconomique de mesures et d'instruments de politique énergétique et l'étude reposant sur des scénarios de la demande d'énergie, de l'offre d'énergie et des conditions-cadres du futur. En effet, la recherche socio-économique a pour but d'étudier, aussi indépendamment des priorités thématiques, le contexte politique, économique et social ainsi que les combinaisons de différentes mesures politiques et de leurs effets. Il conviendrait également de prendre en considération les interactions avec des mesures ne relevant pas de la politique énergétique, par exemple des mesures d'aménagement du territoire, de politique climatique ou de politique des transports, et ce non seulement à l'échelle nationale mais aussi internationale. La politique climatique et énergétique internationale exerce une grande influence sur les marchés suisses de l'énergie. Montrer ces influences et les interactions des mesures politiques nationales et internationales constitue un sujet de recherche important. Il en va de même pour le positionnement de la Suisse sur les marchés internationaux de l'énergie.

## Sujets de recherche 2017–2020

La liste ci-après présente une sélection de sujets de recherche qui devraient être abordés durant la période 2017–2020. La plupart des thèmes mentionnés sont pertinents pour plusieurs priorités de recherche technique. Ainsi, une meilleure compréhension des facteurs influençant la consommation individuelle d'énergie est par exemple fondamentale tant dans la mobilité que dans le domaine Travail et habitat de demain.

**Consommation d'énergie et comportement individuel**

- Facteurs socio-économiques déterminants et facteurs affectifs, normatifs et cognitifs influençant la consommation individuelle d'énergie, effets de rebond
- Relations entre l'information (à l'exemple des connaissances sur l'énergie) et la prise de décisions d'individus dans leur contexte social et dans leur catégorie de population, modélisation du processus de prise de décision, y compris influence de la rationalité (risque vs rendement) et de la rationalité limitée (bounded rationality)
- Acceptation socio-politique (par les parties prenantes et par les législateurs), acceptation par la communauté, acceptation de mesures politiques
- Acceptation et influence de nouvelles technologies économisant l'énergie sur le comportement des ménages
- Innovation dans le domaine de l'énergie: comportement des ménages, importance et impact d'innovations sociales

**Entreprises et marchés**

*Investissements*

- Attrait des investissements dans les infrastructures énergétiques du point de vue des investisseurs et de l'optimisation de portefeuilles; analyse et évaluation normative des conditions-cadres juridiques des investissements à long terme
- Obstacles aux investissements dans l'efficacité énergétique et dans les énergies renouvelables

*Stratégie d'entreprise et organisation*

- Stratégies pour des systèmes énergétiques intelligents
- Domaine de l'énergie comme système d'innovation; mode de fonctionnement et facteurs déterminants, incitations et obstacles à l'innovation, diffusion des nouveautés
- Possibilités d'influence des entreprises sur le comportement des collaborateurs et possibilités d'influence des collaborateurs sur les entreprises, compte tenu des limites posées par le droit du travail

*Conception du marché*

- Conception des marchés de l'énergie en Suisse, conception efficace des marchés, possibilités de conception visant à promouvoir les énergies renouvelables, mise en œuvre juridique d'une conception efficace
- Libéralisation et aspects liés à la régulation du marché

**Instruments de politique énergétique et environnementale**

*Modélisation macroéconomique, scénarios et analyses*

- Modèles macroéconomiques pour les scénarios et les simulations de différentes options de politique énergétique (sortie du nucléaire, mesures d'encouragement, taxes d'incitation, réforme fiscale écologique) et leurs impacts sur l'approvisionnement énergétique et sur la compétitivité de l'industrie suisse
- Analyses globales du système énergétique, constitution de scénarios axés sur les acteurs et sur la société en complément des scénarios axés sur l'énergie, c.-à-d. élaboration de formes de société (notamment modes de vie, utilisation de l'espace, travail, habitat, achats, loisirs, mobilité, etc.) susceptibles de se développer avec les conditions-cadres modifiées; incitations et obstacles qui favorisent ou empêchent ces formes de société
- Élaboration de modèles et de scénarios de la demande qui prennent en considération le comportement individuel et les interactions sociales
- Mécanismes visant à poursuivre le découplage de la consommation d'énergie de la croissance économique
- Stratégies d'adaptation au changement climatique (refroidissement, disponibilité de l'eau, etc.)

*Analyse des instruments et mesures de politique énergétique et climatique*

- Conception du passage du système d'encouragement au système d'incitation
- Interactions des instruments et des mesures de politique climatique et énergétique

*Aspects juridiques et internationaux*

- Positionnement de la Suisse sur les marchés internationaux de l'énergie et possibilités d'intégration de la Suisse dans le marché européen de l'énergie (de l'électricité), y compris des installations de pompage-turbinage dans le réseau européen
- Influence et interaction de la politique énergétique étrangère et de la politique climatique internationale avec les instruments et mesures suisses
- Conformité des instruments et mesures suisses avec le droit international
- Possibilités de réduire/résoudre les conflits d'objectifs entre le droit de l'aménagement du territoire, le droit de l'environnement et le droit de l'énergie, possibilités et limites de l'accélération des procédures de planification et d'autorisation

# Travail et habitat de demain

Le parc immobilier suisse devra à l'avenir être exploité de manière énergétiquement efficace et neutre en termes d'émissions. Il contribuera activement à aligner la consommation à l'offre d'électricité. Les besoins humains en matière de travail et d'habitat seront satisfaits de sorte à préserver les ressources.

Conformément à cette vision, des recherches sont menées dans la priorité thématique *Travail et habitat de demain* sur des technologies et des concepts qui diminuent les besoins énergétiques et augmentent l'efficacité de la transformation et de l'utilisation de l'énergie. La recherche porte en outre sur le stockage décentralisé de l'énergie, sur la production locale d'énergie renouvelable dans les bâtiments, les sites, les zones urbaines et les villes ainsi que sur la combinaison de la consommation d'énergie, de la production décentralisée d'énergie, des infrastructures et de l'exploitation du réseau. Il faudra intégrer les systèmes énergétiques décentralisés là où cela est judicieux dans le système énergétique suisse de demain afin de garantir un approvisionnement énergétique national efficace et économique.

Les stratégies visant à augmenter l'efficacité et à diminuer la consommation des énergies non renouvelables dans le parc immobilier sont essentielles pour parvenir à la neutralité climatique dans le domaine du bâtiment (bilan annuel des gaz à effet de serre nul). Il convient de définir la proportion optimale des gains d'efficacité en fonction du rapport coûts/bénéfices de mesures d'efficacité supplémentaires par rapport à l'utilisation des énergies renouvelables.

L'exploitation de nouveaux bâtiments ne doit générer aucune émission polluante et garantir un confort élevé en ce qui concerne le climat ambiant, le bruit/l'acoustique, la lumière et l'hygiène. Les bâtiments doivent être construits et les matériaux utilisés fabriqués de manière à préserver les ressources. Les émissions de gaz à effet de serre produites par leur construction et leur démolition doivent nettement diminuer par rapport à leur niveau actuel.

Pour ce faire, il faut développer des technologies et des concepts permettant une production, une transformation, une utilisation et un stockage intelligents de l'énergie dans le domaine du bâtiment qui intègrent des possibilités d'interconnexion et d'interopérabilité avec les réseaux d'approvisionnement. La recherche dans ce domaine doit être aussi bien technologique que socio-économique. Le savoir élaboré doit finalement être mis en œuvre dans des produits et des instruments de planification, de conseil et d'exécution et, si nécessaire, par des programmes et des instruments de politique énergétique, puis être transféré sur le marché. L'exploitation intégrale des possibilités d'économies et d'efficacité et la réalisation des objectifs dépendra du comportement des propriétaires, des exploitants et des utilisateurs de bâtiments.

Les interfaces avec les autres priorités thématiques doivent être intégrées dans ce processus, par exemple l'influence de la planification des bâtiments et de l'aménagement du territoire sur la consommation d'énergie liée à la mobilité et aux infrastructures ou l'influence de technologies de réseau intelligent et de comptage intelligent sur les possibilités d'utilisation et de stockage des énergies renouvelables produites de manière décentralisée.

**Rénovation durable du parc immobilier**

Les bâtiments occasionnent près de 45% de la consommation d'énergie primaire et 40% du total des émissions de $CO_2$ en Suisse. Il existe ainsi un grand potentiel de réduction et d'optimisation. Diverses stratégies nationales et internationales demandent que le parc immobilier soit foncièrement repensé sur la base de critères de développement durable.

En se fondant sur les visions présentées en introduction d'une société à 2000 watts[17)] et d'une société à une tonne de $CO_2$[18)], la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA) a formulé dans son cahier technique «La voie SIA vers l'efficacité énergétique»[19] des objectifs intermédiaires dans le domaine du bâtiment à l'horizon 2050 en collaboration avec la Confédération, l'EPF et la ville de Zurich. Ces objectifs visent une puissance moyenne de 2000 watts pour l'énergie primaire non renouvelable et de 2 tonnes d'équivalent $CO_2$ par personne et par an. Près de la moitié de cette puissance et de ces émissions revient au domaine du bâtiment. Afin de replacer dans un contexte plus global l'énergie nécessaire à l'utilisation des bâtiments, l'énergie grise comprise dans les matériaux de construction et dans les composants techniques du bâtiment ainsi que celle consommée pour les trajets demandés par la localisation des bâtiments est aussi prise en considération. Ces objectifs intermédiaires tiennent compte de la faisabilité technique et de l'acceptabilité financière, tout en octroyant une certaine latitude architectonique et urbanistique.

**Objectifs**

Le cahier technique «La voie SIA vers l'efficacité énergétique» postule des valeurs-cibles à l'horizon 2050 pour l'énergie primaire et pour les émissions de gaz à effet de serre correspondantes pour six catégories de bâtiments (habitation, administration, école, magasin d'alimentation, magasin spécialisé, restaurant) et propose une méthode de calcul ad hoc. Pour un objet déterminé, ces valeurs-cibles constituent les exigences minimales posées aux projets pilotes et de démonstration.

Outre ces valeurs-cibles globales, ce cahier technique contient des valeurs indicatives séparées pour les charges d'exploitation, la construction de bâtiments et pour la mobilité. Les efforts de recherche doivent viser à diminuer de près de la moitié ces valeurs indicatives pour un objet déterminé afin de progresser dans la direction du concept visionnaire d'une exploitation des bâtiments neutre en termes de $CO_2$.

*Le quartier «Suurstoffi» à Rotkreuz a pour objectif l'exploitation sans émission de $CO_2$ pour la production de chaleur et de froid (habitation, bureau et artisanat). Le concept se base sur un «réseau d'anérgie» combiné avec des sondes géothermiques et de l'électricité photovoltaïque produite sur le site (avec achat supplémentaire d'électricité labellisée en cas de besoin aux heures de pointe). La conduite de chaleur sert de source de chaleur pour les pompes à chaleur des différents bâtiments et la conduite de froid est utilisée pour le «freecooling» (sans pompe à chaleur). Image: Zug Estates et HSLU T+A*

## Priorités à moyen et à long terme

**Enveloppe et concepts de bâtiment, processus de construction**

Réduire fortement la consommation d'énergie et les émissions de $CO_2$ des bâtiments déjà construits est un grand défi économique qui nécessite d'optimiser toutes les mesures possibles sur le bâtiment. En cas de rénovation énergétique de l'enveloppe du bâtiment, plus l'isolation est améliorée, plus les coûts augmentent. S'il est possible d'obtenir un même gain d'efficacité et la réduction des émissions de $CO_2$ qui en résulte au moyen d'autres mesures respectueuses de l'environnement, il est économiquement plus pertinent d'investir dans des mesures plus avantageuses avec des coûts marginaux plus bas.

Pour la construction de nouveaux bâtiments, la recherche porte en priorité sur les besoins énergétiques et sur les émissions polluantes et de gaz à effet de serre tout au long du cycle de vie du bâtiment, y compris les besoins en énergie grise et les émissions grises de gaz à effet de serre pour la fabrication des matériaux et la construction. Pour diminuer la consommation d'énergie liée à l'exploitation, des technologies sont nécessaires, qui permettent à la fois de réduire substantiellement les déperditions énergétiques et d'encourager la production d'énergie au moyen de l'enveloppe du bâtiment. Dans ce cadre, il convient d'assurer la préservation de la diversité architectonique.

Il importe d'adapter les bâtiments aux besoins de confort et d'espace de demain. En ce qui concerne les besoins d'espace, il convient d'étudier les possibilités de couvrir les besoins existants avec des infrastructures minimales grâce à une conception et des solutions architecturales innovantes.

Il existe aujourd'hui des méthodes permettant de comparer l'utilité de mesures d'efficacité énergétique avec celle de la production supplémentaire d'énergies renouvelables pour un bâtiment déterminé. Néanmoins, les bases manquent pour optimiser les constructions de bâtiments et les rénovations du point de vue du système dans son ensemble, c.-à-d. en intégrant les nouvelles possibilités de stockage centralisé et décentralisé, les réseaux intelligents d'approvisionnement en énergie et la gestion de la demande. Des technologies d'automation, de comptage intelligent et de réseau intelligent doivent permettre d'exploiter les potentiels de synergie existants à l'échelle aussi bien d'un bâtiment que de sites et de quartiers. Pour y parvenir, il faut développer des instruments novateurs pour une planification intégrale, une évaluation exhaustive et une optimisation globale des solutions.

Pour les bâtiments d'habitation, la recherche doit fournir de nouvelles solutions d'isolation très efficaces et abordables qui répondent aux exigences esthétiques et architectoniques et à celles posées pour les bâtiments historiques méritant d'être conservés.

Pour les bâtiments non destinés à l'habitation, comme les bureaux, les écoles ou les bâtiments publics, des solutions novatrices visant à protéger contre la chaleur en été doivent être élaborées conjointement à des solutions visant à réduire le besoin en éclairage artificiel (utilisation de la lumière du jour). La conception de l'enveloppe du bâtiment lors de constructions ou de rénovations doit tenir compte de la chaleur produite par les appareils, par l'éclairage, mais également de celle dégagée par les usagers et des effets du changement climatique attendu.

Pour tous les types de bâtiments, la recherche doit porter sur des concepts innovants de fenêtres et de vitres qui permettent aussi bien en hiver qu'en été d'obtenir un climat ambiant optimal en réduisant au minimum le besoin énergétique.

**Technique du bâtiment**

Le but recherché est que les bâtiments soient capables à l'avenir de couvrir le plus possible – seuls ou en réseau – leurs besoins énergétiques (bâtiments à énergie zéro), voire qu'ils présentent un bilan énergétique positif sur l'année (bâtiments à énergie positive). Ils doivent aussi contribuer à lisser les pointes de demande et de production dans le réseau électrique. Il est demandé à la recherche, d'une part, de développer



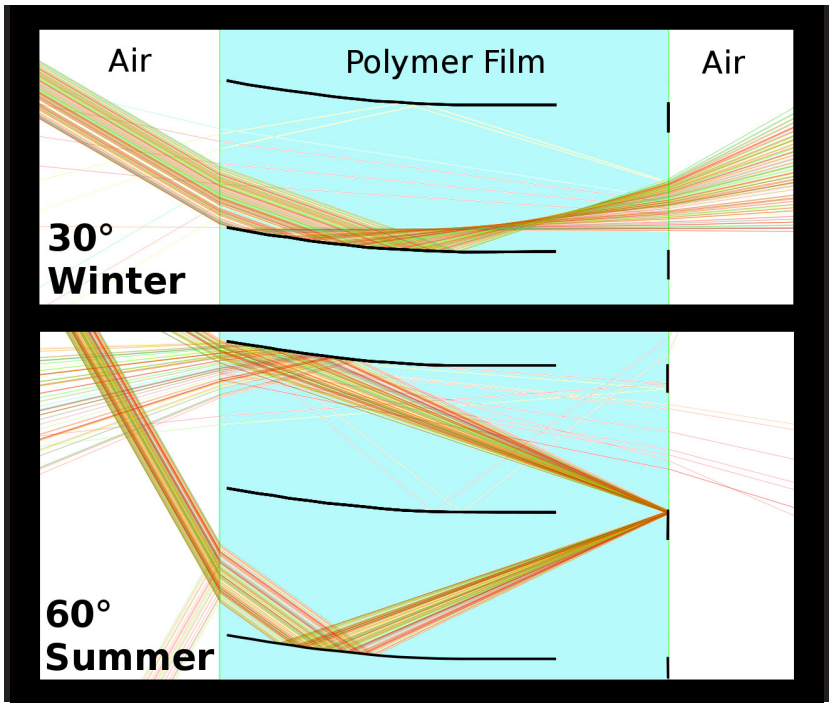
*[17] «Concept pour l'établissement du bilan de la société à 2000 watts», SuisseEnergie pour les communes 2014, [18] «Energiestrategie für die ETH Zürich», ETH 2008, [19] Cahier technique «La voie SIA vers l'efficacité énergétique» (cahier technique SIA 2040), SIA 2016*

des technologies innovantes afin d'économiser et de produire le plus d'énergie possible dans et sur les bâtiments. D'autre part, elle doit étudier et développer des technologies et des algorithmes d'exploitation afin de faire coïncider dans le temps la consommation d'énergie du bâtiment avec l'énergie produite sur place. Les sujets de recherche sont en outre l'adéquation au but, la sélection de la technologie et la conception du stockage local, notamment le stockage journalier, hebdomadaire et saisonnier de l'énergie excédentaire produite par le bâtiment qui ne peut pas être directement valorisée.

Les technologies visant à produire des énergies renouvelables avec le bâtiment et à utiliser les rejets de chaleur doivent être perfectionnées pour devenir encore plus économiques. Une grande importance doit être accordée à l'intégration architectonique et au développement d'éléments actifs multifonctionnels de l'enveloppe du bâtiment afin de mieux les intégrer et de réduire les coûts. De plus, il faut améliorer la standardisation et la fiabilité de ces technologies.
Un aspect important est l'étude de techniques abordables de stockage décentralisé de la chaleur et du froid qui peuvent notamment contribuer à stabiliser le système électrique. En plus de la faisabilité technique de telles solutions, leur rentabilité est un critère central.

Des technologies performantes de pompes à chaleur soutiennent la transformation écologique de la fourniture d'énergie dans les bâtiments. Elles sont souvent une des conditions pour réduire la consommation d'énergie des bâtiments de manière à ce qu'elle puisse être couverte par le renouvelable.

Il faut augmenter la part des technologies de couplage chaleur-force décentralisées, écologiques et de bon rendement exergétique dans la production d'électricité, allonger leur durée de vie et réduire leurs coûts.




*Le projet «vitrage multifonctionnel intégré pour un éclairage naturel dynamique» étudie un concept intégré innovant et le développement d'un vitrage de pointe pour un éclairage naturel dynamique. Le vitrage innovant réunira plusieurs fonctions: protection contre l'éblouissement, protection contre la surchauffe en été et isolation thermique en hiver. De nouvelles microstructures permettront de rediriger le rayonnement solaire incident, permettant ainsi de projeter à des angles déterminés l'éclairage naturel au fond des locaux, de la même manière que les dispositifs de réflecteurs anidoliques, et de protéger contre l'éblouissement. Le rayonnement solaire sera réduit pour certains angles. Les progrès technologiques permettent la fabrication et l'amélioration de microstructures en recourant au procédé de dépôt sélectif de micro-miroirs.*
*Image: EPFL LESO-PB*

Comme la fréquence des périodes caniculaires tend à augmenter, il faut s'attendre à ce que le besoin en froid augmente à l'avenir dans le domaine du bâtiment. Il sera nécessaire de mieux pouvoir régler les installations de refroidissement, ce qui pose des exigences élevées à une exploitation efficace en charge partielle.

Des solutions innovantes utilisant les technologies TIC et d'automation, de comptage, de pilotage et de réglage doivent être recherchées afin de surveiller et de régler la consommation d'énergie du bâtiment, donc de coordonner la consommation interne, l'énergie produite par le bâtiment, le stockage décentralisé et la mise en réseau du bâtiment.

**Sites et quartiers**

Des approches globales sont nécessaires pour couvrir le plus possible les besoins en énergie électrique et thermique de la Suisse avec des sources d'énergie locales et renouvelables. Des quartiers ou des sites peuvent être développés en systèmes énergétiques décentralisés et interconnectés. C'est souvent la condition pour valoriser économiquement les énergies renouvelables et les rejets de chaleur disponibles localement et couvrir les besoins en énergie électrique et thermique du quartier ou du site avec une part aussi élevée que possible d'énergie produite sur place.

Les systèmes énergétiques décentralisés peuvent fournir des services énergétiques au quartier/au site ou à la région environnante dans les domaines de la fourniture, de la transformation, de la gestion, du stockage et de la distribution. Ce ne sont pas des systèmes autarciques, bien au contraire: ils doivent activement s'intégrer dans le système énergétique suisse/européen et seront des sous-systèmes du système énergétique de demain.

Il est nécessaire d'effectuer des recherches pour optimiser sur les plans énergétique et économique les solutions de réseau dans un site/un quartier, y compris au moyen de TIC innovantes visant à régler et à améliorer la gestion de la production d'énergie et de la charge. Il est ainsi possible d'apporter une contribution importante à la concrétisation des discussions sur les villes et communautés intelligentes.

La réalisation de solutions en réseau pour des sites existants comprenant plusieurs propriétaires et acteurs est un défi complexe à relever. Il convient d'étudier et d'évaluer des modèles prometteurs d'organismes porteurs, les processus d'acceptation et les manières de procéder pour examiner et développer des solutions en réseau dans un site/un quartier, les conditions-cadres juridiques propices, les instruments de politique énergétique/d'aménagement du territoire ainsi que les possibilités de financement.

**Être humain, marché, politique**

Dans la priorité thématique *Travail et habitat de demain*, il faut étudier le comportement des personnes actives dans le domaine du bâtiment (propriétaires, investisseurs, utilisateurs, conseillers, exécutants/entrepreneurs) et les conditions-cadres déterminant leur comportement, les facteurs d'influence, les obstacles et les motivations ainsi que les possibilités d'accélérer la transformation du parc immobilier. Il convient d'examiner l'acceptation des nouvelles technologies, des nouveaux concepts et modèles par les investisseurs et les utilisateurs ainsi que les possibilités de surmonter d'éventuels obstacles.

Il faut aussi étudier le comportement des entreprises qui sont actives dans la priorité thématique Travail et habitat de demain, y compris les facteurs qui influencent leurs activités et leurs modèles commerciaux. Il convient notamment d'analyser les motivations et les incitations qui poussent les propriétaires à se mettre en réseau. Il est également nécessaire d'observer comment les bénéfices de la mise en réseau sont répartis et de réfléchir aux critères de répartition.

Pour qu'il soit possible d'habiter et de travailler dans une perspective durable dans ce parc immobilier optimisé, il faut en outre que soient développés des projets d'aménagement et des modèles novateurs dans les domaines de l'habitat, du logement et du travail et que leurs impacts possibles sur les objectifs énergétiques soient étudiés. Il est nécessaire d'améliorer la synergie entre comportements des utilisateurs et technologies utilisées, la technique devant encourager un comportement adéquat des utilisateurs.

## Sujets de recherche 2017 – 2020

La liste ci-après présente une sélection de sujets de recherche qui devraient être abordés durant la période 2017–2020.

**Enveloppe et concepts de bâtiment, processus de construction**

*Nouvelles technologies et nouveaux concepts*

- Concepts de bâtiment innovants (allongement du cycle de vie des structures porteuses afin de préserver les ressources, recours systématique à des matériaux de construction renouvelables, séparables et recyclables, construction légère), nouvelles technologies et nouveaux processus de construction
- Matériaux avec un minimum de consommation d'énergie grise et d'émissions grises de gaz à effet de serre. Élaboration de bases sur la consommation d'énergie grise par la technique du bâtiment
- Composants et matériaux isolants ultraperformants pour la rénovation de bâtiments qui se prêtent au façonnage (découpe) sur le chantier même et qui réduisent nettement la charge de travail sur le chantier
- Amélioration des propriétés thermiques des vitrages et des fenêtres: vitres électrochromes, vitres avec des valeurs g variables, etc.
- Élaboration de bases sur l'amélioration de la flexibilité d'utilisation lors de constructions ou de rénovations intégrales, sur l'allongement de la durée d'utilisation ou sur la réduction de la consommation d'énergie grise lors de futures rénovations ou d'adaptations au changement d'affectation

*Méthode de calcul, outils*

- Instruments de planification visant à réduire la consommation d'énergie et les émissions de $CO_2$ lors de rénovations de bâtiments sur l'ensemble du cycle de vie avec le meilleur rapport coût/utilité possible. Élaboration d'une méthode d'évaluation
- Intégration d'aspects énergétiques dans les systèmes de modélisation des données du bâtiment (MIB) et études des possibilités offertes par la MIB pour réduire la consommation d'énergie sur l'ensemble du cycle de vie. Examen des possibilités d'utilisation de données SIG en lien avec l'énergie

**Technique du bâtiment**

*Utilisation thermique et électrique de l'énergie solaire*

- Éléments de façade solaires (photovoltaïque, solaire thermique) à géométrie variable et avec des qualités esthétiques pour une meilleure intégration au bâtiment ou comme élément décoratif
- Simplification des systèmes solaires thermiques afin de réduire les coûts et d'augmenter la fiabilité
- Optimisation de la coordination des propres besoins en énergie, de l'utilisation décentralisée de l'énergie solaire et des possibilités décentralisées de stockage

*Pompes à chaleur*

- Amélioration du rendement des pompes à chaleur et des machines de production de froid et de leur intégration dans le système énergétique du bâtiment et dans le réseau électrique
- Réfrigérants novateurs et économiques avec une haute efficacité thermodynamique et un faible potentiel d'effet de serre, sans impact sur la couche d'ozone

*Couplage chaleur-force (CCF)*

- Optimisation des systèmes CCF: intégration de la production variable d'électricité renouvelable

*Géothermie jusqu'à 500 m de profondeur*

- Opportunités et risques en lien avec l'installation de champs de sondes géothermiques dans des zones de protection des eaux souterraines
- Préparation de bases et outils de conception d'accumulateurs de chaleur saisonniers avec sondes géothermiques

*Fourniture de froid*

- Solutions optimisées du point de vue des ressources et des coûts pour un refroidissement actif et passif des bâtiments

*Stockage décentralisé*

- Nouveaux composants et matériaux ainsi que concepts innovants pour le stockage décentralisé de chaleur, de froid et d'électricité (accumulateurs journaliers, hebdomadaires et saisonniers pour les bâtiments et les sites, accumulateurs techniques avec forte densité de stockage, activation de la capacité de stockage de chaleur du bâtiment, etc.)

*Systèmes de ventilation*

- Optimisation de la consommation d'énergie primaire des installations de ventilation en service et de leur consommation d'énergie grise

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

- Étude de l'influence à long terme des technologies TIC sur la consommation de chaleur et d'électricité d'appareils et de bâtiments (y compris la consommation propre, l'énergie grise, les coûts, l'acceptation)
- Gestion de la charge et de la production des bâtiments en interaction avec le réseau électrique et d'éventuels accumulateurs techniques et capacités de stockage internes (y c. véhicules électriques)

*Monitoring et optimisation de l'exploitation*

- Analyse de la concordance des valeurs de planification avec les valeurs effectives de consommation lors de constructions et de rénovations, identification et analyse des causes des éventuels écarts et déduction de recommandations
- Élaboration de méthodes abordables visant à relever l'énergie consommée par l'exploitation et par la mobilité induite par la localisation du bâtiment
- Analyse des possibilités techniques d'autorégulation des systèmes et analyse de leur efficacité à long terme

**Sites et quartiers**

- Démonstration de concepts visant le développement durable de sites, de quartiers et de villes (sites 2000 watts, villes et communautés intelligentes) axé sur la neutralité climatique
- Étude de voies de transformation et de stratégies, d'instruments et de conditions-cadres soutenant le développement de sites et de quartiers – groupes de bâtiments ou «Sites 2000 watts»[20] – axés sur la neutralité climatique
- Quantification de l'impact de l'évolution climatique mondiale et du microclimat dans les zones urbaines/villes sur le chauffage et le refroidissement des bâtiments; intégration de cet impact dans les outils de planification
- Élaboration de bases pour l'aménagement des villes et des quartiers visant à réduire l'effet d'îlot de chaleur urbain et à diminuer ainsi les charges de refroidissement et à augmenter le confort
- Étude des possibilités de conception et d'optimisation de réseaux à basse température visant à utiliser des sources et des accumulateurs d'énergie renouvelable, de chaleur de l'environnement, de rejets de chaleur pour le chauffage et le refroidissement en recourant aux nouvelles technologies TIC pour le comptage, le pilotage et le réglage
- Étude et évaluation de modèles prometteurs d'organismes porteurs, de processus d'acceptation et de manières de procéder pour examiner et développer des solutions en réseau dans un site/un quartier, des conditions-cadres juridiques propices, des instruments de politique énergétique/d'aménagement du territoire ainsi que des possibilités de financement
- Plateformes numériques pour une planification intégrative, multidisciplinaire et collaborative prenant en considération les aspects énergétiques et utilisant, le cas échéant, les possibilités offertes par un système d'information géographique (SIG)



[20] *Certificat élaboré par SuisseEnergie et décerné par l'Association Cité de l'énergie. Dépliant «Sites 2000 watts», éditeur: SuisseEnergie pour les communes, 2015*

**Être humain, marché, politique**

*Comportement individuel*

- Analyse des motivations pour le choix du domicile et de leur impact sur la consommation d'énergie due à la mobilité, élaboration de recommandations d'action. Étude de l'acceptation de nouveaux modèles d'habitat et de travail et de leur impact sur la consommation d'énergie
- Concepts de nouvelles formes d'habitat préservant l'espace et les ressources
- Clarification des potentiels de réduction énergétique présentés par les stratégies de sobriété
- Facteurs déterminant les besoins liés à l'énergie et les possibilités/instruments visant à influer sur ces besoins dans la priorité thématique Travail et habitat de demain (comme les concepts de partage du travail et de l'habitat, les prescriptions en matière de surfaces habitables et d'occupation pour bénéficier de l'encouragement, etc.)
- Facteurs socio-économiques déterminants, facteurs affectifs et cognitifs influençant les décisions concernant l'énergie prises par les consommateurs et le comportement de consommation dans la priorité thématique Travail et habitat de demain
- Décisions concernant l'énergie prises lors de constructions et de rénovations par des investisseurs dans le domaine du bâtiment, facteurs déterminant ces décisions et instruments visant à influencer les décisions liées à l'énergie
- Étude des facteurs d'influence, des motivations et des obstacles ainsi que des incitations possibles qui poussent les propriétaires immobiliers à former et à rejoindre un réseau
- Possibilités d'influence des propriétaires sur les locataires et possibilités d'influence des locataires sur les propriétaires, compte tenu des limites posées par le droit du bail
- Analyse du comportement des utilisateurs et de l'impact des nouvelles technologies énergétiques sur le comportement des utilisateurs dans le domaine du bâtiment

*Entreprises et marchés*

- Gestion de la demande (demand side management, DSM) avec les nouvelles technologies énergétiques et TIC: possibilités, instruments/conditions-cadres nécessaires;
- Analyse des différents points de vue et coordination des acteurs participants (notamment des propriétaires immobiliers et des gestionnaires de réseau) lors de l'optimisation de la consommation, de la production et du stockage dans les réseaux d'énergie et déduction de recommandations d'action
- Analyse des besoins en formation et en formation continue et instruments de mise en œuvre ad hoc visant à améliorer la qualité des conseils donnés et de l'exécution réalisée par les consultants et par les entreprises dans le domaine de la construction et de la rénovation

# Mobilité de demain

La télématique des transports, les techniques de propulsion avancées et les concepts de mobilité innovants mènent vers une mobilité attrayante, performante et peu polluante. L'un des buts poursuivis est de diminuer substantiellement à l'avenir la consommation totale d'énergie ainsi que les émissions de gaz à effet de serre et les émissions polluantes, malgré la croissance de la mobilité. Pour y parvenir, il convient d'encourager la recherche et le développement dans le domaine des technologies ultraperformantes, des carburants renouvelables et des technologies mobiles de stockage et de mieux comprendre le comportement des utilisateurs des nouvelles formes de mobilité.

Afin de réaliser cette vision de la Mobilité de demain, il faut optimiser tous les domaines de la mobilité et réduire le plus possible la mobilité physique (les déplacements). Outre la mise à disposition de véhicules plus légers et plus efficaces, le recours sur l'ensemble du territoire aux technologies d'automation et la substitution partielle des carburants fossiles, de nouvelles approches intégrales sont indispensables. Le comportement des individus tout comme celui de la société dans son ensemble joueront un rôle décisif. Des pistes novatrices doivent être trouvées par des approches interdisciplinaires.
Les sciences des matériaux constituent une base importante pour la construction légère, l'efficacité des systèmes de stockage et la sécurité de systèmes entiers. De nouveaux matériaux et technologies – bionique[21], nanotechnologies, technologies de l'information et de la communication (TIC) et capteurs ultramodernes – sont certes déjà utilisés dans la mobilité mais présentent encore un potentiel de développement. En sus de grandes opportunités, ils comportent cependant aussi des dangers tels que le risque accru d'accidents présenté par les vélos électriques ou la libération de fibres susceptibles d'être inhalées en cas de combustion de matières synthétiques renforçant les fibres de carbones.

La télématique des transports et les technologies d'automation doivent améliorer l'efficacité de la mobilité en fluidifiant le trafic, en évitant les déplacements inutiles, en regroupant les déplacements, etc. A ce jour, l'impact sur la mobilité physique des TIC couvrant l'ensemble du territoire tels que les plateformes d'autopartage en ligne disponibles 24h/24 n'est pas encore très clair. Il est nécessaire de combler ces lacunes et d'éviter autant que possible les effets de rebond.

En ce qui concerne la mobilité, il est indiqué de la replacer dans le contexte de la civilisation moderne et ainsi de la considérer aussi dans le contexte des autres priorités thématiques.

**Baisse de la consommation d'énergie malgré une mobilité en hausse**

La mobilité représente aujourd'hui près de 35% de la consommation nationale d'énergie finale. Le trafic, aussi bien absolu que relatif, ne cesse d'augmenter. En Suisse, la croissance du transport par route et par rail est supérieure à celle de la population. L'allongement des trajets, suivi de la croissance démographique et de l'augmentation de la mobilité individuelle en sont les principales causes. Ces dernières années, le nombre d'heures de bouchons sur le réseau autoroutier a ainsi augmenté deux fois plus vite que la prestation de transport. De nouvelles formes de mobilité sont recherchées et requises car il n'est pas possible de faire face à la croissance du trafic en développant les infrastructures. Aux heures de pointes, les transports publics atteignent aussi les limites de leurs capacités bien que le taux moyen de remplissage des trains régionaux et longue distance soit plutôt faible (23 resp. 31%).



*[21] Bionique: processus qui consiste à prendre la nature comme source d'inspiration pour une conception technique indépendante (Lernen von der Natur als Anregung für eigenständiges technisches Weiterarbeiten), extrait de l'ouvrage «Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler», W. Nachtigall 2002*

*Le nouveau bus électrique du consortium ABB, TPG, Opi et SIG garde tous les avantages d'un bus électrique sans devoir recourir à une ligne de contact. Il est rechargé par un système de charge conductive aux stations terminus et par des charges rapides à certaines stations le long du parcours. Image: EPFL*

Il est indispensable de réaliser des progrès dans de nombreux domaines afin d'obtenir un degré élevé de mobilité, de disposer d'un système de transport globalement attrayant, efficace et respectueux de l'environnement et d'atteindre les objectifs de la *Stratégie énergétique 2050* en Suisse. Ces progrès englobent les nouvelles technologies telles que les propulsions électriques qui peuvent en sus contribuer à réduire les émissions. De nouveaux concepts de gestion du trafic ayant accès à de l'information détaillée et intermodale sur la mobilité, un changement de comportement des usagers – avec ou sans mesures politiques – et des modèles d'économie de partage sont autant de nouvelles pistes. Enfin, de nouveaux développements dans les techniques de contrôle et de pilotage ouvriront à long terme des voies nouvelles vers une mobilité efficace et respectueuse de l'environnement. Les nouvelles tendances importantes pour la mobilité de demain comprennent les véhicules autonomes sans conducteur, les systèmes globaux d'information sur le trafic reposant sur les TIC et – dans le domaine privé et plus particulièrement au sein des jeunes générations – la tendance à ne plus posséder son propre moyen de transport mais à en partager un.

Afin d'éviter la saturation des infrastructures aux heures de pointes et de mieux les utiliser avec plus d'efficacité (lissage des pointes), il faut aussi transposer des stratégies de désynchronisation dans des concepts réalisables et acceptables. Il est possible de réduire les activités engendrant du trafic – vacances, travail, école, etc. – en flexibilisant les horaires et les lieux (télétravail) ou en donnant des signaux de prix (tarification routière).

## Priorités à moyen et à long terme

Il est fondamental d'adopter une approche systémique globale (sécurité pour l'être humain et pour l'environ-

nement, recyclage, disponibilité des matériaux, acceptation et possibilités de financement) lors de la recherche, du développement et de l'implémentation ultérieure de technologies novatrices.

**Stockage de l'énergie et substitution des carburants fossiles**

Le plus grand défi actuel à relever pour remplacer les moteurs à combustion par des propulsions entièrement électriques est le stockage abordable de l'énergie électrique dans les véhicules. Les réservoirs d'énergie électrochimique (batteries et accumulateurs) disposent d'une densité d'énergie qui ne correspond en général qu'à environ 5% de celle des carburants fossiles. Par conséquent, ces réservoirs sont relativement lourds. Pour l'instant, les batteries au lithium-ion dominent le marché. Elles présentent une énergie spécifique près de cinq fois plus élevée que celle des batteries au plomb. Ce développement était une condition essentielle à la large diffusion des vélos électriques. Les voitures électriques n'ont toutefois pas connu de boom semblable. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire de poursuivre les efforts de recherche en vue d'augmenter la densité d'énergie et de puissance et d'allonger la durée de vie des batteries tout en réduisant les coûts.

Les supercondensateurs[22] sont des accumulateurs d'énergie à très haute densité de puissance. Ils sont adaptés aux charges de pointe et sont déjà utilisés aujourd'hui dans les trams et les bus. Ils ne sont encore guère intégrés dans les voitures électriques à cause de leur prix élevé. Voilà pourquoi ils devraient être produits à moindres coûts. Il existe des potentiels d'amélioration en ce qui concerne les matériaux et les techniques de fabrication.

Les options de décarbonisation en matière de transport se situent principalement dans l'augmentation de l'efficacité des moteurs à combustion, le recours aux carburants biogènes, une électrification partielle ou intégrale. Pour toutes ces options, il convient aussi d'étudier, en sus de l'optimisation technique, si elles sont judicieuses des points de vue écologique et économique.

**Efficacité élevée par des systèmes intelligents de mobilité et de transport via les TIC**

Dans les transports publics, l'objectif est de détourner une partie des flux de trafic des heures de pointe sur les heures moins chargées afin d'obtenir une répartition équilibrée des usagers. Les incitations financières sur la route ou sur le rail peuvent soutenir ce processus. Des modèles flexibles d'école et de travail combinés au télétravail aident également à lisser les pointes de trafic et notamment à réduire le trafic pendulaire. Par conséquent, il faudrait développer des concepts et des stratégies de désynchronisation et étudier leurs impacts énergétique, économique, écologique et social. Dans les pays hautement développés, les loisirs représentent plus de la moitié des déplacements, dont une majorité est effectuée en transport individuel motorisé. Les transports publics qui disposent en dehors des heures de pointe de grandes capacités non utilisées pourraient, avec de nouveaux modèles tarifaires et concepts de desserte, influer en leur faveur sur la répartition modale et ainsi contribuer à exploiter des potentiels d'économie d'énergie et à réduire les émissions de $CO_2$.

Les véhicules routiers sans conducteur possèdent le potentiel de bouleverser la mobilité ces prochaines années. Dans le trafic de proximité, ils pourraient par exemple être complémentaires du point de vue économique aux taxis, aux bus, aux trams, parcourir le «dernier kilomètre» des transports publics, voire les remplacer lorsque la demande est faible. De nouvelles formes de covoiturage et de télématique, par exemple utilisant les TIC, ont encore un grand potentiel. Dans ces domaines, il convient de combler les lacunes, d'identifier les obstacles à la mise en œuvre et de les éliminer.

**Systèmes efficaces de véhicules**

Réduire de manière absolue et spécifique le besoin d'énergie, notamment la consommation de carburants fossiles, reste un sujet crucial de la mobilité. Concernant le trafic individuel motorisé, il est techniquement possible de diviser par un facteur 3 la consommation de carburant des voitures neuves à l'horizon 2050, aussi est-ce l'objectif à atteindre. Des chaînes de pro-



*22) Condensateurs à double couche: Leistungselektronische Bauelemente. 2e édition. Édition Springer Verlag, Dierk Schröder 2006*

*Des navettes sans chauffeur parcourent le campus de l'EPFL, favorisant une mobilité moins énergivore, silencieuse et n'émettant aucune émission au niveau local. Ce moyen de transport inédit pourrait révolutionner la circulation routière. Image: EPFL*

pulsion[23] (moteurs à combustion, systèmes hybrides et électriques) et unités auxiliaires plus efficaces, la récupération, la construction légère et la réduction de la résistance à l'air et au roulement présentent toujours des potentiels. Des techniques de fabrication et des matériaux nouveaux permettent d'améliorer l'efficacité lors de la conception des véhicules en général ou des véhicules légers en particulier. Il convient ici de combler les lacunes surtout dans le domaine de la sécurité et de l'analyse des cycles de vie des matériaux (y compris de leur recyclage). Des systèmes de sécurité active sont ainsi indispensables à la construction beaucoup plus légère des systèmes de véhicules; leur perfectionnement est décisif en la matière. La baisse des résistances dans les systèmes d'accumulation ou l'utilisation d'ultracondensateurs dans les véhicules hybrides ou électriques permettent d'améliorer nettement le rendement de la récupération (récupération d'énergie lors du freinage).

L'optimisation des systèmes de véhicules doit réduire l'utilisation des terres rares et l'énergie grise. Le recyclage ultérieur doit déjà être pris en compte dans la phase de développement des systèmes de véhicules. On attend des progrès d'approches interdisciplinaires telles que la bionique: des méthodes de simulation et de diagnostic permettent d'améliorer la compréhension par exemple du processus de combustion et présentent ainsi de nouveaux potentiels d'optimisation.

**Comportement des utilisateurs et changement social**

La tendance à la société collaborative et ainsi à un mode de vie qui accorde moins d'importance à la possession d'une voiture qu'à son utilisation quand elle est nécessaire ouvrent de nouvelles possibilités de mobilité efficace et préservant les ressources. L'utilisation partagée d'un véhicule permet de remplacer entre cinq et dix voitures privées[24]. Pionnière de l'autopartage et dotée de bonnes infrastructures de transport, la Suisse dispose de conditions favorables pour développer de nouveaux concepts intégrés de transport associant transports publics, mobilité douce, véhicules autonomes sans conducteur et pour exploiter leur potentiel économique et écologique. La compréhension intégrale d'une mobilité qui présente un impact minimal sur l'environnement inclut la recherche sur l'acceptation et une analyse globale des approches susmentionnées, y compris les stratégies de réduction du trafic telles que la tarification routière et les stratégies anti-rebond.



*[23] Vehicle Propulsion Systems, Edition Springer Verlag, Lino Guzzella, 2005, [24] D'après Knoflacher, H.; TU Wien, 2014*

## Sujets de recherche 2017 – 2020

**Stockage de l'énergie et substitution de carburants fossiles**

- Poursuite du développement de pièces pour véhicules ou de systèmes permettant une utilisation plus efficace et économique de carburants alternatifs (dont l'électricité) et d'agents énergétiques alternatifs (dont l'hydrogène, les carburants de synthèse et les biocarburants)
- Étude de l'impact de l'utilisation d'accumulateurs et d'agents énergétiques novateurs comme le processus de conversion d'électricité en gaz (power to gas, P2G) en prenant en considération la performance écologique et économique
- Augmentation de la densité d'énergie des accumulateurs pour les utilisations mobiles qui doit passer de 150 Wh/kg environ actuellement (en se référant au bloc accumulateur) à 300 Wh/kg au moins et allongement de la durée de vie à 4000 cycles au moins tout en améliorant la sûreté d'emploi
- Réduction de l'impact des recharges rapides sur la durée de vie des accumulateurs
- Détermination des possibilités et quantification des potentiels que pourraient offrir les véhicules hybrides rechargeables (plug-in-hybrid) et les véhicules électriques pour influencer substantiellement le profil de charge de l'approvisionnement en électricité ou pour utiliser les batteries de véhicules afin de compléter la production d'énergie aléatoire dans l'exploitation du réseau

**Efficacité élevée par des systèmes intelligents de mobilité et de transport via les TIC**

- Projets de recherche interdisciplinaire visant à développer de nouveaux systèmes de mobilité
- Élaboration de concepts de désynchronisation comprenant l'analyse compréhensive de l'efficacité, de la capacité, de la sécurité, de l'acceptation et d'autres conséquences possibles
- Démonstration de nouveaux modèles de mobilité, y compris recherche générale d'accompagnement (par exemple sur l'efficacité, la capacité, la sécurité, l'acceptation, l'évaluation des conséquences)
- Perfectionnement et mise en œuvre de concepts de gestion fluide de l'exploitation dans le réseau de transports publics (recommandations de trajets en temps réel, horaires, etc.)
- Mise en place de concepts innovants d'autopartage et de covoiturage qui reposent notamment sur les nouvelles technologies de communication
- Réduction des imprécisions des écobilans et des analyses de cycles de vie par l'amélioration des bases de données et des méthodes afin d'encourager une appréhension globale de la mobilité et du système de mobilité

**Systèmes efficaces de véhicules**

- Augmentation du rendement des moteurs à combustion des véhicules de 10% (domaine de puissance jusqu'à env. 250 kW) au banc d'essai
- Développement de technologies de l'information et de capteurs servant de base à des systèmes de sécurité active embarqués dans les véhicules pour améliorer les conditions d'introduction dans le trafic de véhicules de construction légère
- Utilisation combinée de constructions légères, de carénages, de pneus légers, de TIC, de propulsions ultra-efficaces, etc. pour abaisser la consommation des véhicules de tourisme à un ou deux litres d'équivalent essence par 100 km

– Véhicules pilotes et projets de démonstration de concepts d'hybridation permettant des économies de carburant de 25-35% au minimum par rapport à des véhicules de référence, pour un surcoût minimal
– Intégration de systèmes d'incitation à adopter un mode de conduite efficace et moins dynamique, par exemple combinés au GPS

**Comportement des utilisateurs et changement social**

– Élaboration de mesures et d'offres qui renforcent l'attrait des transports publics et de la mobilité combinée, avec l'objectif de réaliser un transfert du trafic individuel motorisé et du trafic aérien sur les transports publics
– Élaboration de mesures et d'offres qui opèrent un transfert du transport de marchandises sur le rail
– Élaboration de mesures, de concepts et de composants ainsi que premières applications en vue d'augmenter l'efficacité énergétique des transports publics jusqu'à 10% (meilleure utilisation de la capacité des véhicules, amélioration de leur propulsion, etc.)
– Meilleure compréhension socio-économique et technique (p. ex. action préventive contre la peur de la nouveauté lors de l'introduction de nouveaux systèmes techniques) – compte tenu de l'effet de rebond – des genres de technologies, d'instruments et d'incitations susceptibles d'éviter les déplacements professionnels et la circulation qui en découle et de diminuer les déplacements de loisirs
– Analyses et essais sur le terrain concernant les possibilités et les limites de la désynchronisation des flux de trafic liés au travail et aux loisirs afin de parvenir à une utilisation équilibrée de la capacité des véhicules
– Identification d'infrastructures de mobilité durable et de modèles commerciaux pour le travail et les loisirs ainsi que leur mise en œuvre courante et conviviale. Mise à jour des fondements pour des conditions-cadres idoines de la politique énergétique
– Projets pilotes menés dans des régions sélectionnées et portant sur de nouvelles conceptions et de nouvelles formes de mobilité, pour encourager la mise en œuvre de nouvelles technologies et de nouveaux modèles commerciaux, pour contribuer à leur acceptation par la population et pour poser les bases sur lesquelles prendre de futures décisions en matière de politique énergétique
– Tests locaux des différentes variantes de tarification routière dans des zones délimitées et évaluation de leur impact

**Coopération internationale**

– Les efforts doivent porter sur des clarifications fondamentales au plan international:
– Normalisation et standardisation d'éléments pour véhicules importants telles que l'infrastructure de charge, le réseau de bord, le réservoir (à hydrogène)
– Étude du potentiel d'interférence des rayonnements électromagnétiques sur une éventuelle future recharge par induction des véhicules
– Analyses uniformisées des cycles de vie des nouveaux systèmes de véhicules et des principaux composants qui mettent plus l'accent sur la recyclabilité

# Systèmes énergétiques de demain

Des réseaux intelligents de systèmes énergétiques sont la base d'un approvisionnement énergétique sûr, solide et durable. La mise en réseau des systèmes énergétiques est cruciale pour l'élaboration et pour l'application d'une politique énergétique, notamment pour la *Stratégie énergétique 2050* de la Suisse. L'intégration de sous-systèmes énergétiques permet d'interconnecter les agents énergétiques comme l'électricité, la chaleur/le froid, les carburants avec des infrastructures telles que les réseaux à haute tension, les réseaux d'eau et les réseaux de transport mais aussi les infrastructures de communication. L'objectif est d'optimiser l'efficacité et de réduire le plus possible les potentiels énergétiques non exploités, les nuisances pour l'environnement et les risques pour la population. La conception des composantes et des systèmes partiels et l'optimisation de leur interopérabilité soulèvent de nombreuses questions de recherche qui représentent un large champ d'innovation.

Le scénario «Nouvelle politique énergétique» (NPE) du Conseil fédéral requiert de diminuer fortement la consommation d'énergie finale, ce qui nécessite que la recherche donne des résultats et que le marché innove. Les systèmes énergétiques de demain constituent la colonne vertébrale qui regroupera les progrès à réaliser dans les priorités thématiques que sont le *travail et l'habitat, la mobilité* et *les processus de demain*.

Les systèmes énergétiques intégrés[25] sont composés d'une série d'éléments interopérables et interdépendants et de nombreux composants interconnectés.
Un premier élément comprend les composants physiques qui livrent, transforment, stockent et transportent l'énergie. Leurs composantes sont des offres d'énergie primaire, essentiellement les énergies renouvelables, les installations de transformation en produits utiles comme les carburants, la chaleur et le froid ou l'électricité et les installations de stockage et de transport d'agents énergétiques. Le recours à ces composantes provoque des atteintes à la nature et à l'environnement qui requièrent une gestion intégrée des risques et des mesures de réduction des risques. En ce sens, une compréhension approfondie de l'analyse de l'ensemble du cycle de vie est aussi nécessaire.

Une deuxième série d'éléments comprend les composantes physiques qui relient les systèmes énergétiques et qui les font réagir à des signaux externes. Parallèlement et idéalement, un troisième élément est intégré: les systèmes de services des technologies de l'information et de la communication, qui fournissent des plateformes pour un trafic sûr des données afin d'assurer le pilotage des systèmes énergétiques.

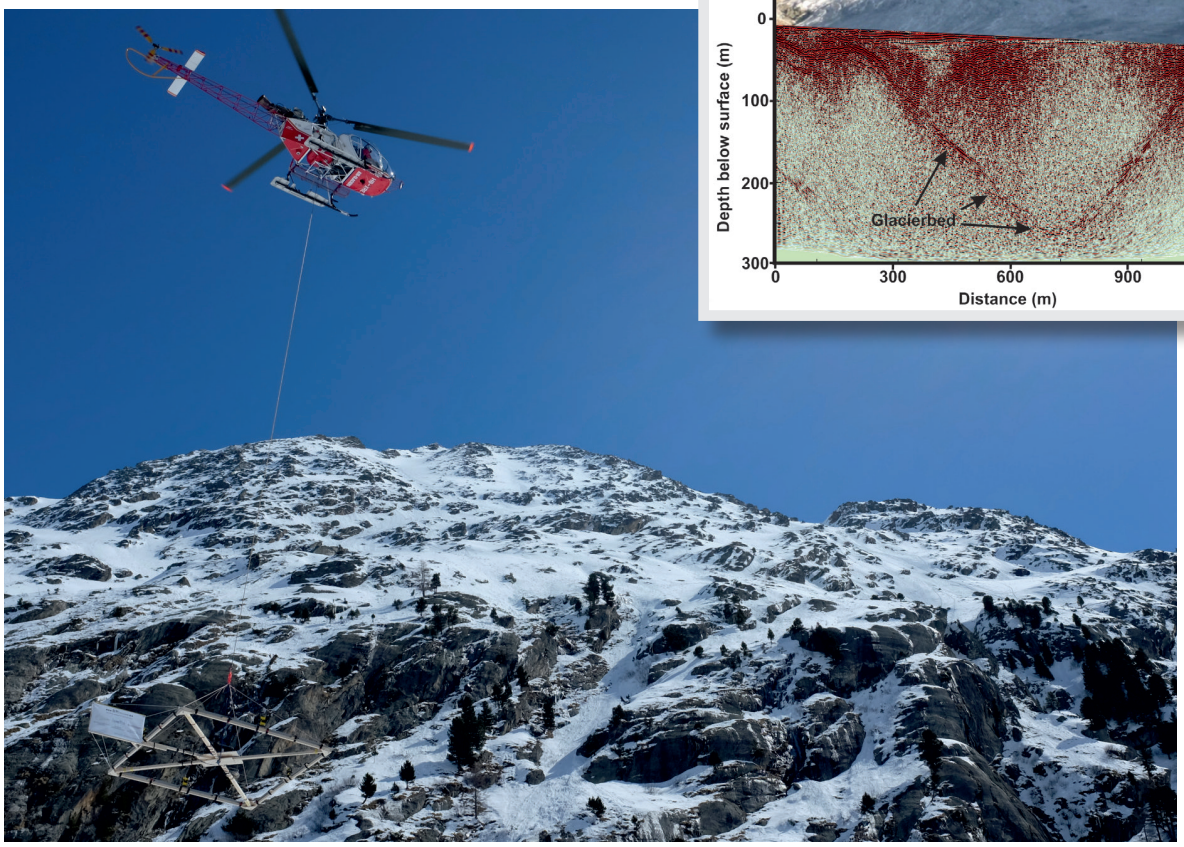
Des contrôles des systèmes sont superposés et interconnectés au pilotage des systèmes. Cet élément surveille, contrôle et garantit finalement la sécurité et la fiabilité des appareils qui sont effectivement raccordés aux infrastructures énergétiques.

La libéralisation croissante des marchés de l'énergie conduit à un changement radical du comportement des investisseurs, à une meilleure dynamique des modèles commerciaux et à un plus grand choix de technologies qui arrivent à maturité commerciale. Cette évolution entretient un rapport conflictuel avec la longévité des installations d'infrastructure. Par conséquent, on se rend de plus en plus compte qu'il est indispensable de comprendre, en sus des aspects relevant de la technique et des sciences de l'ingénieur, l'interaction des systèmes énergétiques avec un der-



[25] *Cette approche repose sur un concept de système énergétique intégré décrit par le National Renewable Energy Laboratory du Département américain de l'énergie.*

nier élément englobant, le dynamisme du marché. Ce dernier dépend fortement des conditions-cadres économiques, réglementaires et politiques. Afin de mettre en œuvre la *Stratégie énergétique 2050*, la Suisse doit recourir à la recherche et à l'innovation pour répondre le mieux possible aux trois dimensions du développement durable (utilité économique, bien-être social, protection de l'environnement et de la nature). L'acceptation sociale de la restructuration du système énergétique suisse par des technologies et des concepts nouveaux, à la fois pour utiliser des ressources indigènes et pour faire changer le comportement de consommation d'énergie d'une population qui se montre de plus en plus critique envers les technologies représente un grand défi. Les bouleversements politiques et les mutations économiques au sein de l'Europe posent en outre avec toujours plus d'acuité la question de la sécurité nationale d'approvisionnement. En effet, la Suisse est très bien intégrée au marché européen de l'énergie. Et elle le restera, indépendamment de la forme politique et commerciale que prendront demain ses relations avec l'étranger. L'intégration physique améliore, malgré des facteurs externes, la sécurité nationale d'approvisionnement.




***Les Alpes sans leurs glaciers***
*La cartographie détaillée de l'épaisseur des glaciers suisses a franchi une étape déterminante: en avril 2015, un relevé radar aérien a permis de réaliser une image d'une clarté optimale du lit du glacier d'Otemma, dans le canton du Valais. Après une année de recherches menées en commun par la station d'essai d'hydraulique, d'hydrologie et de glaciologie (VAW) et le groupe Exploration and Environmental Geophysics (EEG) de l'EPFZ, à Zurich, la nouvelle installation héliportée de radar pénétrant, améliorée, a été testée avec succès. L'objectif global du projet d'inventaire des glaciers est de réaliser pour l'ensemble de la Suisse une carte du relief des Alpes sans les glaciers, qui permette d'établir leur épaisseur. Le projet est financé par le SCCER-SoE et la Commission suisse de géophysique (SGPK).*
*Image: Beat Rinderknecht, BR-Technik. Radargramm: Lasse Rabenstein, ETH Zürich*

## Priorités à moyen et à long terme

La recherche et l'innovation sont cruciales pour atteindre les valeurs indicatives à long terme données pour la consommation d'énergie finale: ainsi, il est prévu que la consommation nationale se montera en 2050 à 125 TWh en Suisse, soit une baisse de près de 54% par rapport à l'année de référence 2000. La politique climatique suisse veut réduire d'ici 2030 les émissions de gaz à effet de serre de 50% par rapport à 1990[26]. Selon le scénario sur lequel reposent ces valeurs indicatives, la consommation finale d'électricité (comprenant les pertes et la consommation parasitaire) serait de l'ordre de 53 TWh par an, soit en recul de 18% par rapport à l'année de référence 2000 malgré l'augmentation de la prospérité et la croissance démographique. Du côté de l'offre, il est prévu que la force hydraulique, pilier de l'approvisionnement en électricité de la Suisse, fournisse près de 39 TWh. Les autres énergies renouvelables doivent produire près de 24 TWh d'électricité à l'horizon 2050. Les valeurs indicatives pour 2035 donnent une demande d'énergie finale de 152 TWh, soit une réduction de la consommation par habitant de 43% correspondant au scénario.

**Efficacité énergétique, disponibilité et fiabilité**

Concernant l'offre de chaleur/de froid et d'électricité, il faut s'attendre à ce que les systèmes et les installations s'améliorent sans cesse des points de vue de la durabilité écologique et de l'efficacité énergétique. Les analyses des cycles de vie couplées à des analyses de décision sont un outil pour optimiser leur exploitation. Une utilisation efficace des ressources, la focalisation sur le développement et l'utilisation de technologies augmentant l'efficacité et de technologies réduisant et évitant les émissions de gaz à effet de serre diminueront l'empreinte écologique.

Les systèmes de fourniture d'électricité et leur intégration dans les réseaux nécessitent une bonne mise en réseau (pilotage et contrôle), une disponibilité élevée et un fonctionnement sûr. Une intégration fiable des énergies renouvelables dans les réseaux électriques repose sur des processus «intelligents», d'une part, et sur de nouveaux systèmes de pilotage, d'autre part.

**Électricité renouvelable**

Outre l'efficacité énergétique et les économies, le recours aux énergies renouvelables pour la fourniture d'électricité est un pilier de la *Stratégie énergétique 2050*. Les nouvelles énergies renouvelables doivent produire près de 14,5 TWh d'électricité à l'horizon 2035 (contre 3 TWh en 2014), soit un taux de croissance annuel moyen de 8%. Les critères de durabilité, de fiabilité et de disponibilité seront pris en considération pour parvenir à un mix d'électricité renouvelable permettant de réduire le plus possible les surcoûts du stockage de l'énergie et des adaptations des réseaux en raison du développement considérable attendu du photovoltaïque et de l'éolien.

Ainsi, la production moyenne d'électricité hydraulique doit augmenter de 1,5 à 3,2 TWh par an. Compte tenu de la protection de l'environnement et de la nature et des facteurs socio-économiques, il sera possible d'y parvenir en trouvant, en sus des solutions établies (rehaussement des barrages, augmentation de la puissance installée), des approches innovantes d'utilisation des installations actuelles et de nouveaux sites pour des centrales de pompage-turbinage. Or, le changement climatique exercera une influence non seulement sur la disponibilité de l'eau mais aussi sur l'état du bassin versant par une hausse de l'apport de sédiments et des conséquences potentiellement plus graves des dangers naturels qui vont s'accumulant.

Pour l'hydraulique suisse, le semestre d'hiver est la période critique car la production pourrait chuter de 50% par rapport à aujourd'hui. Rien que pour cette raison, les capacités de stockage flexibles jouent un rôle important pour la sécurité d'approvisionnement, non seulement en Suisse mais aussi en Europe.

Le recours au photovoltaïque est un élément essentiel de la *Stratégie énergétique 2050*: en effet, le photovoltaïque doit fournir environ la moitié de l'électricité produite à partir de nouvelles sources d'énergies renouvelables. Les défis généraux que cette technologie doit relever sont de continuer à réduire les coûts sur l'ensemble de la chaîne de création de valeur, principalement par une nouvelle hausse de l'efficacité énergétique des différents composants et par l'indus-



[26] *http://www.bafu.admin.ch/klima/03449/12696/index.html?lang=fr&msg-id=56394*

trialisation de nouveaux produits et de nouveaux processus de fabrication. Par ailleurs, la fourniture de solutions d'intégration (aussi bien dans le bâtiment que dans le réseau électrique) et les questions liées au développement durable (réduction de la consommation d'énergie et de matériaux lors de la production, recyclage) sont aussi essentielles.

**Réseaux intelligents performants**

Les réseaux électriques modernes et performants doivent répondre à des exigences nettement plus élevées: l'exploitation sûre et fiable d'un réseau intégré à l'international avec un grand nombre de participants - des producteurs centralisés ou décentralisés et des clients grands ou petits -, qui peuvent choisir librement leur fournisseur d'électricité. Parallèlement, ils doivent satisfaire à des exigences de production respectueuse de l'environnement, de fonctionnement efficace et de flexibilité élevée afin d'adapter de manière optimale la production d'électricité (intermittente) à la consommation.

Afin de maîtriser cette mission complexe, il faut au plan technique que les réseaux intègrent largement la production variable d'électricité renouvelable. Cette mission se caractérisera par une participation des consommateurs d'électricité via la gestion de la demande, une capacité de stockage suffisante et une forte intégration des technologies de l'information et de la communication afin de maîtriser la nouvelle complexité des réseaux. L'exploitation de mégadonnées (big data) et l'application de méthodes d'analyse des mégadonnées permettent d'étudier et de développer des concepts prometteurs, des liens de causalité et des analyses multivariées de systèmes tout en respectant la sécurité des données.

**Stockage de l'énergie**

De nouveaux systèmes de télécommunications, d'acquisition de données, d'analyse de données et de contrôle du réseau permettront à moyen terme de tirer avantage du stockage «réparti» de l'énergie. En complément, le stockage indirect d'électricité sous forme de chaleur ou le stockage chimique sous forme d'hydrogène ou d'hydrocarbure peuvent aider à équilibrer l'offre et la demande. Il sera ainsi possible de procéder à un équilibrage entre les agents énergétiques pour les prestations énergétiques dans le domaine de la chaleur/du refroidissement et des moteurs.

**Technologie nucléaire**

La recherche réglementaire indépendante sur la sécurité doit se poursuivre, pour comprendre le grave accident de Fukushima et pour en tirer les enseignements. Les efforts déployés par la recherche dans le domaine de la gestion et de la diminution des déchets nucléaires doivent être maintenus. Il faut que les sciences sociales et les sciences humaines fournissent les bases permettant que les trois étapes de la procédure de sélection des sites pour les dépôts en couches géologiques profondes de déchets radioactifs puissent être menées à bien.

*La recherche appliquée menée dans le domaine géologique au laboratoire souterrain du Grimsel (Oberland bernois) vise à déterminer les ressources géothermiques de la Suisse. Des tests géophysiques sont menés dans le laboratoire afin de caractériser les masses de roche de manière exhaustive avant de réaliser un test contrôlé visant à procéder à une stimulation hydraulique.*
*Image: Florian Amann, SCCER – SoE*

La participation mesurée de la Suisse au développement de technologies permettant de disposer de réacteurs plus sûrs et plus efficaces, allant jusqu'à la fusion nucléaire, doit permettre à notre pays de garder sa capacité de jugement. Enfin, les nouvelles technologies appliquées aux réacteurs de quatrième génération doivent faire l'objet d'une évaluation continue concernant la sécurité ainsi que la gestion et le stockage des déchets. Quant à la recherche sur la fusion, il faut la poursuivre dans la mesure où elle peut être financée dans le cadre d'une collaboration multilatérale, sans réduire les fonds de recherche alloués aux autres technologies énergétiques.

**Surveillance de la sécurité et des risques dans le secteur énergétique**

La dépendance croissante de la Suisse des énergies renouvelables requiert un examen continu et global de la sécurité et des risques. Cet examen comprend des évaluations fondées des ressources énergétiques, de la sécurité et de la disponibilité en lien avec le changement climatique, d'autres facteurs environnementaux et le contexte politique. Il faut aussi développer de nouvelles conditions-cadres pour optimiser sans cesse l'offre et la demande dans un marché en mutation. Les évolutions socio-politiques requièrent impérativement une analyse moderne des risques et des mesures visant à maîtriser les dangers naturels et les dangers provoqués par l'homme dans le secteur énergétique (notamment en rapport avec les infrastructures). Ces derniers sont fortement liés à l'acception sociale de nouvelles technologies compte tenu de l'aversion au risque et de la sécurité d'approvisionnement.

**Des essais de démonstration nécessaires**

La complexité de la recherche et de la technologie pour montrer la faisabilité technique de la planification et de l'exploitation de futures infrastructures peut nécessiter des démonstrations à l'échelle d'installations commerciales. De telles plateformes permettent d'étudier de nouvelles technologies et infrastructures et leur potentiel dans un environnement réaliste. La gestion de la charge et le comportement de systèmes énergétiques intégrés avec une grande part de sources d'énergies renouvelables variables et les capacités de stockage requises à cette fin en sont des exemples. La géothermie pétrothermale, qui doit jouer un grand rôle selon la Stratégie énergétique, en est un autre exemple: la démonstration de faisabilité ne peut être apportée qu'à l'échelle 1:1. Dans les conditions de marché qui règnent actuellement dans l'économie électrique, la démonstration de faisabilité ne peut être apportée qu'avec un important soutien des pouvoirs publics.

## Sujets de recherche 2017 – 2020

Pour la période 2017–2020, la CORE recommande les sujets de recherche suivants qui sont axés sur la mise en œuvre de la *Stratégie énergétique 2050* et qui doivent maintenir et renforcer les atouts de la Suisse en tant que place économique innovante face à la concurrence internationale. La CORE ne veut pas désigner arbitrairement des gagnants mais encourage le concours d'idées dans les conditions naturelles, socio-politiques et économiques qui règnent en Suisse. C'est la raison pour laquelle elle renonce à prescrire un ordre de priorité.

**Éléments de connexion du système énergétique**

- Importance du stockage d'énergie à grande échelle dans les systèmes énergétiques intégrés
- Évaluation des possibilités d'intégration des centrales de pompage-turbinage existantes aux nouvelles technologies de stockage
- Outils de planification optimale de réseaux de distribution active qui englobent les technologies de stockage
- Détermination de modèles de vieillissement de systèmes de stockage (notamment des accumulateurs électrochimiques) pour l'utilisation d'outils de planification et d'exploitation de réseaux
- Simulateurs de systèmes éparpillés de stockage d'énergie
- Stockage efficace et concurrentiel, notamment pour des systèmes de stockage de courte durée et saisonnier de la chaleur (systèmes de chaleur latente, systèmes à adsorption et thermochimiques)
- Stockage efficace et concurrentiel, notamment pour des systèmes décentralisés de stockage de la fourniture d'électricité variable (électrolyse de l'eau, processus de conversion d'électricité en gaz associant électrolyse de $CO_2$ et de H2O, production de carburants à haute densité d'énergie)
- Stockage chimique de carburants de synthèse liquides et gazeux produits à partir d'énergies renouvelables
- Reconversion en électricité de l'hydrogène d'origine renouvelable dans des piles à combustible stationnaires
- Systèmes répartis de batteries stationnaires (y compris technologies lithium-ion et sodium-ion, technologies à flux redox)
- Nouveaux matériaux pour le stockage et la conversion de l'énergie à différentes températures

**Énergies renouvelables**

*Hydraulique*

- Impact du changement climatique sur le potentiel de production, sur la disponibilité de l'eau (recul des glaciers, cumul de neige fraîche et fonte des neiges, débits de l'eau, apport et transport de sédiments) et sur la sécurité d'exploitation (crues et instabilité des versants);
- Hausse de la charge et amélioration de l'efficacité d'installations existantes pour une exploitation flexible visant à répondre à une demande supplémentaire très fluctuante
- Technologie pour adapter les infrastructures existantes en vue d'améliorer l'efficacité de la production, de rendre l'exploitation plus flexible afin de répondre à la demande saisonnière et à la demande de pointe journalière
- Impact sur les écosystèmes aquatiques de nouveaux modes d'exploitation complexes et de la multiplication des petites centrales hydrauliques; stratégies visant à réduire cet impact
- Détermination des futures conditions-cadres pour une stratégie d'exploitation multi-objectifs de la

force hydraulique (production maximale, fiabilité et flexibilité, rentabilité et préservation des écosystèmes) en prenant en considération l'évolution future de la demande, la dynamisation du marché et les exigences socio-politiques
– Sécurité et amélioration à long terme des infrastructures hydrauliques (p. ex. vieillissement du béton des barrages, fréquence et gravité plus élevées des crues, des séismes de forte magnitude et des événements subséquents, systèmes modernes de surveillance et systèmes améliorés d'évaluation de la vulnérabilité)
– Projets pilotes et de démonstration intégrés pour de nouveaux modes et technologies de production dans les grandes centrales hydrauliques

*Exploitation énergétique du sous-sol profond*
– Propriétés physiques, chimiques et mécaniques de la roche (interaction fluide-roche, intégrité de la roche de recouvrement, création de perméabilité)
– Méthodes de prospection à haute résolution pour découvrir et évaluer les ressources et pour cartographier les perturbations
– Méthodes intégrées de simulation numérique de processus d'écoulement dynamiques dans le sous-sol
– Nouvelles méthodes pour rendre la roche plus perméable afin de créer des échangeurs de chaleur et des réservoirs géothermiques optimisés
– Méthodes de construction et d'utilisation planifiables, fiables et peu coûteuses (aussi en surface) de réservoirs géothermiques
– Méthodes d'évaluation des risques, de surveillance, de prévention de la sismicité induite et de réduction, le cas échéant, des dommages provoqués par les séismes
– Test et validation de technologies, de processus et de procédés dans des conditions in situ dans le sous-sol et création d'une infrastructure de recherche nationale pour la recherche géothermique dans le sous-sol
– Projets pilotes et de démonstration nationaux pour la géothermie profonde, les réservoirs de $CO_2$ et d'autres gaz

*Photovoltaïque sans silicium*
– Nouveaux matériaux pour des cellules solaires à couches minces
– Amélioration des cellules solaires et des infrastructures pour les processus à grande échelle et les usines de fabrication
– Technologies de production de cellules à couches minces
– Assurance de la qualité des modules et de la technique des systèmes électriques

*Bioénergie*
– Exploitation économique de la biomasse durable en Suisse
– Prétraitement de la biomasse pour la standardisation des produits, le stockage, le transport et la conversion efficace en agents énergétiques et en services
– Techniques de fermentation (aussi microbiologiques) pour augmenter le rendement du biogaz et pour produire directement des carburants liquides
– Processus échelonné de combustion de la biomasse avec réduction des émissions
– Amélioration des technologies de gazéification de la biomasse humide et de la biomasse sèche (effica-

cité, rejets de polluants, cycles de matériaux fermés, résistance à la corrosion, stockage, durée de vie des catalyseurs, intégration des systèmes et efficacité des coûts)
- Développement de technologies polyvalentes de processus de gazéification de la biomasse
- Optimisation de la fourniture d'électricité à partir de la biomasse (exergie, rentabilité, conquête de marché)
- Évaluation du potentiel de la biomasse non ligneuse en Suisse
- Acceptation sociale d'installations industrielles de biomasse en Suisse

**Réseaux intelligents à haute performance**
- Surveillance et méthodes de contrôle dynamique des réseaux de transport et de distribution;
- Intégration de raccordements multiples de redresseurs AC-DC (pour transformer le courant alternatif en courant continu), transport et distribution
- Électronique de puissance et commutation: nouvelle architecture de conversion de puissance, commutateurs à haute tension et haute puissance
- Pilotage d'installations éparpillées de production d'électricité et de stockage par de nouvelles approches de la théorique du contrôle
- Réseaux multi- et polyvalents; bases de l'interopérabilité des multi-réseaux pour la planification, l'exploitation et le pilotage
- Interopérabilité entre la réponse de la demande et les services supplémentaires et accessoires des réseaux de distribution, d'une part, et les réserves primaires, secondaires et tertiaires des réseaux de transport, d'autre part
- Standardisation et pilotage des réseaux: impact des directives de raccordement au réseau (grid codes) sur les processus d'exploitation et de pilotage
- Composants des systèmes de puissance: impact des nouveaux dispositifs de surveillance, de pilotage et de protection sur l'exploitation et le pilotage des réseaux
- Pilotage, processus et conception des réseaux d'énergie polyvalents (gaz naturel et biogaz, réseaux de distribution basse température, fourniture et distribution d'électricité, hubs énergétiques)
- Intégration intelligente de la production décentralisée d'électricité
- Modèles précis de prévisions à court et à moyen terme de la fourniture d'électricité renouvelable pour esquisser des scénarios pour les systèmes énergétiques suisses

**Énergie nucléaire: sécurité et avantages**

*Recherche réglementaire en sécurité nucléaire*
- Recherche sur les combustibles et les matériaux, les événements externes, les facteurs humains, le comportement des systèmes, le déroulement d'incidents et la radioprotection. Participation à des banques de données internationales sur les dommages et les événements internes

*Déchets radioactifs*
- Étude de roches argileuses, conception et inventaire d'un dépôt en couches géologiques profondes, y compris dépôt-pilote (formation et comportement de gaz dans le champ proche et le champ lointain d'un dépôt en couches géologiques profondes)
- Optimisation de la gestion des déchets, prévention et gestion des déchets

# Processus de demain

La fabrication de produits dont l'usage de ressources est optimisé et concurrenciels demande que soient introduits des processus et des matériaux inédits en recourant à des procédés de développement basés sur l'analyse du cycle de vie (ACV). L'utilisation de composants hautement efficaces permet de minimiser la consommation d'énergie et de matériaux par les installations de production. Les technologies de l'information soutiennent l'intégration des processus jusqu'à l'optimisation énergétique des produits une fois en phase d'utilisation. La priorité est donnée aux matières premières renouvelables et aisément recyclables. L'objectif est de laisser une empreinte écologique aussi minime que possible.

Le développement et la mise en œuvre de processus de production améliorés ou inédits sont en premier lieu stimulés par les conditions-cadres économiques, technologiques et légales. Les besoins énergétiques, la consommation de matières premières et les effets directs ou indirects sur l'environnement naturel revêtent une importance croissante en tant que facteurs de production. La réduction de l'utilisation des ressources s'inscrit au nombre des objectifs des concepts de durabilité de nombreuses entreprises et constitue un élément essentiel de la *Stratégie énergétique 2050*.

Les processus de demain permettent de produire, dans des conditions concurrentielles, des biens de consommation et d'investissement qui, tout au long de leur cycle de vie, satisfont les besoins des clients de manière optimale avec un impact minimal sur l'environnement.

L'analyse du cycle de vie doit déjà intervenir lors du développement du produit. Nouveaux matériaux, processus efficaces en termes d'utilisation d'énergie et de matériaux, besoins énergétiques minimaux lors de l'utilisation et recyclage adéquat sont des éléments essentiels qui offrent davantage de possibilités pour assurer les fonctionnalités. C'est le processus de production qui détermine l'énergie et les matériaux consommés pour la fabrication d'un produit. Des économies substantielles sont réalisables grâce au développement de processus inédits.

Les processus sont mis en œuvre dans des installations de production qui doivent être chauffées, refroidies, mises en fonctionnement et pilotées. L'empreinte écologique qui en résulte peut être fortement influencée par le choix du mode de production d'énergie, des flux énergétiques ou du type de récupération d'énergie. Des composants améliorés et des processus intégrés permettent une optimisation énergétique. L'empreinte écologique dépend aussi sensiblement de la consommation d'énergie pendant la phase d'utilisation des biens ainsi que des efforts pour la récupération, sous forme de matières premières, des matériaux utilisés (recyclage).

Le recours à des sources d'énergie renouvelables peut nécessiter une l'adaptation des procédés (par exemple, le solaire thermique induit une adaptation des températures de processus). Il est important de disposer d'une sécurité d'approvisionnement élevée qui, s'agissant des sources d'électricité intermittentes, peut être améliorée avec des accumulateurs d'énergie ou une intégration intelligente dans le réseau d'approvisionnement. C'est pourquoi il est nécessaire de renforcer l'intégration dans les systèmes énergétiques d'avenir. L'exploitation énergétique de la biomasse est en concurrence avec une utilisation en tant que matière première pour la fabrication de matériaux biogènes, les plastiques biodégradables par exemple[27].

L'introduction réussie des processus de demain dépend aussi d'aspects réglementaires et socio-écono-



[27] *EU Horizion 2020, Bio-Based Industries Joint Undertaking*

miques. Les lois peuvent soutenir la mise en œuvre de mesures d'efficacité énergétique, mais elles peuvent aussi les entraver lorsque des processus autorisés par les autorités de surveillance ne peuvent être modifiés qu'au prix d'une importante charge de travail. Des considérations d'ordre économique ou relatives au marché peuvent aussi avoir pour effet qu'une importance moindre soit accordée aux arguments énergétiques ou écologiques. Il convient pour cette raison d'analyser comment les besoins de la clientèle peuvent être développés de manière à améliorer l'acceptation par le marché de produits présentant une empreinte écologique minime.

Dans les processus de demain, la recherche est principalement axée sur l'industrie, les services et l'agriculture, qui sont à l'origine de 36% de la consommation globale d'énergie et de 61% de la consommation d'électricité en Suisse. Ces chiffres ne tiennent pas compte de l'énergie consommée pour le transport des marchandises et les déplacements professionnels.

**L'«Internet des objets» et «Industrie 4.0»**

Ainsi que le laisse entendre le concept d'«Industrie 4.0»[28], la «révolution IdO» (ou IoT pour Internet of Things)[29] ne permet pas seulement de piloter et de documenter les processus de fabrication, de la planification à la livraison des marchandises; la quantité des données récoltées permet aussi d'optimiser les processus sur le plan énergétique [30], [31]. Des capteurs intelligents ainsi qu'une mécatronique hautement intégrée rendent possible une surveillance et un contrôle des produits pendant la phase d'utilisation, minimisant ainsi la consommation d'énergie. Les technologies de l'information et de la communication (TIC) contribuent de manière substantielle à l'amélioration des processus. Avec les secteurs des services et de la consommation, les TIC constituent elles aussi un important

*Un système de contrôle pilote l'ensemble du processus de production et fournit des informations en temps réel sur l'énergie utilisée.*
*Image: genkur/Shutterstock*



*[28] VDMA, Industrie 4.0 konkret - Lösungen für die industrielle Praxis, avril 2015, [29] Les objets sont pourvus d'intelligence artificielle (ordinateur) et sont connectés entre eux., [30] VDI Technologiezentrum, Innovations- und Effizienzsprünge in der chemischen Industrie? Wirkungen und Herausforderungen von Industrie 4.0 und Co., juillet 2014, [31] VDI Zentrum Ressourceneffizienz, Material- und Energieeffizienzpotenziale durch den Einsatz von Fertigungsdatenerfassung und -verarbeitung, février 2015*

consommateur d'énergie. D'une part, les avantages des TIC doivent être mis en regard avec la consommation supplémentaire d'énergie qu'elles occasionnent et, d'autre part, leur efficacité énergétique doit être considérablement améliorée.

Des processus de fabrication additive (« Impression 3D ») permettent une production rapide – également de pièces tridimensionnelles complexes – demandant une consommation d'énergie et de matériaux comparativement faible. Les matériaux utilisables sont encore limités.

Les nouveaux matériaux, tels que les matériaux légers ou extra-durs ainsi que les revêtements de surfaces présentant peu de résistance, permettent de développer des marchandises d'une durée de vie plus longue et aux besoins énergétiques moins élevés[32)]. En raison de matières premières limitées, l'industrie est obligée de développer des stratégies visant à minimiser la quantité de matériaux requis, à recourir à des matériaux alternatifs et à favoriser la récupération après la phase d'utilisation des marchandises (économie du recyclage). L'utilisation de matériaux biogènes, les plastiques biodégradables par exemple, présente un important potentiel d'économie de ressources. Par rapport à celle des plastiques dérivés du pétrole, la formule chimique des biogènes n'est pas clairement établie, ce qui représente un défi supplémentaire pour le recyclage ou l'élimination[33)].

Les nouvelles technologies auxquelles recourt l'industrie pharmaceutique et chimique sont la biologie synthétique, l'utilisation ciblée de principes actifs et les matériaux de pointe (advanced matérials)[34)]. Les techniques de fabrication avancées (advanced manufacturing) doivent donner lieu à des procédés continus pouvant être appliqués à une large gamme de produits.

**Aucune recette standard pour l'optimisation des processus.**
En raison de la diversité des technologies utilisées, il n'existe aucune recette standard pour l'utilisation efficace de l'énergie et des matériaux. Des expériences réalisées par l'Agence de l'énergie pour l'économie (AEnEC) montrent que les potentiels d'économie sont souvent de l'ordre de 30%, une proportion que confirment des études internationales[35, 36]. Les concepts d'intensification des processus ou les méthodes de fabrication de la prochaine génération laissent entrevoir une réduction technique de 50% sur le long terme.

Le développement de technologies améliorées voire de technologies innovantes exige des entreprises qu'elles réorientent leurs processus de production en prenant en compte les principes d'efficacité énergétique et de préservation des ressources.

Comme l'indique une étude de l'Economist Intelligence Unit[37)], 77% des dirigeants de l'industrie interrogés estiment que l'efficacité énergétique sera un critère de succès déterminant au cours des 20 prochaines années. 45% des sondés ont indiqué que les objectifs de durabilité de l'entreprise constituaient un facteur clé stimulant les investissements dans l'efficacité énergétique. De nombreux programmes nationaux et internationaux se concentrent sur l'efficacité des ressources et donc, implicitement, sur la réduction de la consommation énergétique: ce sont notamment la Plateforme européenne de l'utilisation efficace des ressources, le Joint Programme Energy Efficiency in Industrial Processes de la Commission européenne, l'agenda scientifique Green Economy du ministère allemand de la formation et de la recherche ou les programmes du centre pour l'efficacité des ressources de l'association des ingénieurs allemands (VDI)[38)]. En Suisse, les objectifs en matière de technologies, de processus et produits ménageant les ressources sont fixés dans le Masterplan Cleantech[39)] de la Confédération.

## Priorités à moyen et à long terme

**Processus de développement et ACV**
Dans les futurs processus de développement, la quantité de matériaux requis devra se limiter aux propriétés fonctionnelles des produits et les besoins énergétiques devront parallèlement être réduits au minimum. Pour ce faire, les bases de données des matériaux et des



*[32)] BMBF, MatRessource, Materialien für eine ressourceneffiziente Industrie und Gesellschaft, septembre 2014, [33)] Bio-Based Industries (Public-Private Partnership) de l'UE, [34)] SATW, Technology Outlook, 2015, [35)] IEA, Technology Roadmap Energy and GHG Reductions in Chemical Industries via Catalytic Processes, 2013, [36)] VDI Zentrum Ressourceneffizienz, Analyse von Ressourceneffizienzpotenzialen in KMU der chemischen Industrie, octobre 2014, [37)] Economist Intelligence Unit, mandaté par ABB, Intelligent manufacturing: Targeting better energy efficiency, septembre 2013, [38)] Zentrum für Ressourceneffizienz; VDI: Verein Deutscher Ingenieure (association des ingénieurs allemands)*

procédés doivent être augmentées, les outils de développement doivent s'accompagner des prescriptions en matière d'ACV et l'introduction des processus doit être développée. Tous ces éléments devront par ailleurs être intégrés dans les cursus de formation.

**Procédés et matériaux**

Des processus optimaux en termes d'efficacité énergétique et des matériaux doivent utiliser le moins d'exergie possible; les matériaux doivent être exploités dans une large mesure, de manière à produire peu de déchets. On recourra par exemple à des procédés de séparation mécaniques plutôt que thermiques, ou au formage à froid plutôt qu'au moulage. Pour les procédés établis, il convient d'explorer de nouvelles approches (changement de paradigme, intensification des processus[40]) en vue d'accélérer et d'améliorer l'efficacité des processus: procédés microtechniques permettant d'obtenir une production beaucoup plus précise, utilisation d'autres principes actifs, développement de processus continus, etc. On envisagera également les procédés biotechnologiques, qui ont pour particularité de se dérouler par des températures nettement plus basses que les procédés synthétiques chimiques. A long terme, les procédés innovants devraient déboucher sur des économies d'énergie pouvant atteindre 50%. La recherche énergétique doit en outre participer au développement de technologies inédites, comme la fabrication additive ou les nanoprocessus, en illustrer les potentiels et les risques en termes de réduction de la consommation de ressources ou de recyclage, et en faire la démonstration au moyen d'installations modèles.

Le développement et le choix des matériaux doit s'effectuer en tenant compte de leur bilan énergétique global (de l'extraction des matières premières au recyclage). La recherche sur le développement de matériaux produits à partir de la biomasse destinés à la technique de procédé et de fabrication doit également revêtir un caractère prioritaire.

**Installations et technique énergétique**

Des améliorations substantielles et durables de l'efficacité énergétique et des matériaux sont possibles grâce à des processus intégrés et continus. Des investigations sont encore nécessaires dans les techniques énergétiques utilisées et dans l'optimisation des flux énergétiques. Il convient de prendre en compte la disponibilité des ressources énergétiques renouvelables variables. Dans cette optique, on étudiera la flexibilité de la planification et du pilotage de la production ainsi que les possibilités d'intégration dans les réseaux intelligents. La question de l'emplacement de l'installation de production doit aussi être envisagée à ce stade. Les concepts efficaces à long terme sont ceux qui visent l'intégration de procédés de production peu polluants dans l'espace urbain, lesquels permettent d'améliorer l'utilisation de l'énergie thermique excédentaire et de réduire les déplacements professionnels. Les activités de recherche doivent tenir compte des thèmes prioritaires que sont les systèmes énergétiques, le logement et l'emploi, ainsi que la mobilité.

Les concepts découlant d'Industrie 4.0 – associés à des capteurs améliorés et à des modèles de simulation – peuvent soutenir les améliorations mentionnées ou pour le moins en permettre la réalisation. C'est pourquoi il importe que la recherche énergétique se consacre aux processus de production novateurs, ou bien que la recherche de production élargisse encore plus son champ d'investigation aux aspects énergétiques.

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

Malgré la réduction régulière des besoins énergétiques spécifiques (kWh/byte), l'augmentation considérable de l'utilisation des TIC induit une hausse très importante de la consommation d'énergie. Les TIC font de plus en plus partie intégrante des installations et des produits, si bien qu'une optimisation à large échelle des systèmes doit être envisagée. La priorité à moyen terme doit être le développement de systèmes informatiques à haute performance caractérisés par une alimentation des processeurs plus efficace, moins de pertes de puissance, des systèmes de refroidissement améliorés et des possibilités d'utilisation des rejets de chaleur pour d'autres applications. Sur le long terme,



*[39] EVD et UVEK, Masterplan Cleantech, 2011, [40] EFCE Working Party on Process Intensification; US Department of Energy, Process Intensification, février 2015*

les besoins énergétiques des TIC doivent diminuer grâce à une amélioration sensible des différents systèmes. Les investigations porteront aussi sur les mesures visant à atténuer les effets de rebond.

**Phase d'utilisation**

L'efficacité énergétique des biens de consommation et d'investissement doit déjà être prise en compte dans leur développement. On cherchera dès lors à optimiser l'utilisation des ressources en tenant compte à la fois de la fabrication et de la phase d'utilisation, de manière à réduire autant que possible l'impact sur l'environnement. Il importe de choisir les matériaux en fonction de leur durée de vie, des pertes de charge ou de l'énergie consommée par les pièces en mouvement. Grâce à la sensorique miniaturisée et à la mécatronique intelligente, il est possible de mieux agir sur tous les aspects de la consommation énergétique effective des produits, d'identifier en temps voulu les écarts par rapport aux conditions de fonctionnement théoriques et de déclencher les mesures de maintenance. Les méthodes «rétrofit» et les possibilités de réparation peuvent améliorer la durée de vie et l'efficacité des produits, également pendant la phase d'utilisation.

**Recyclage**

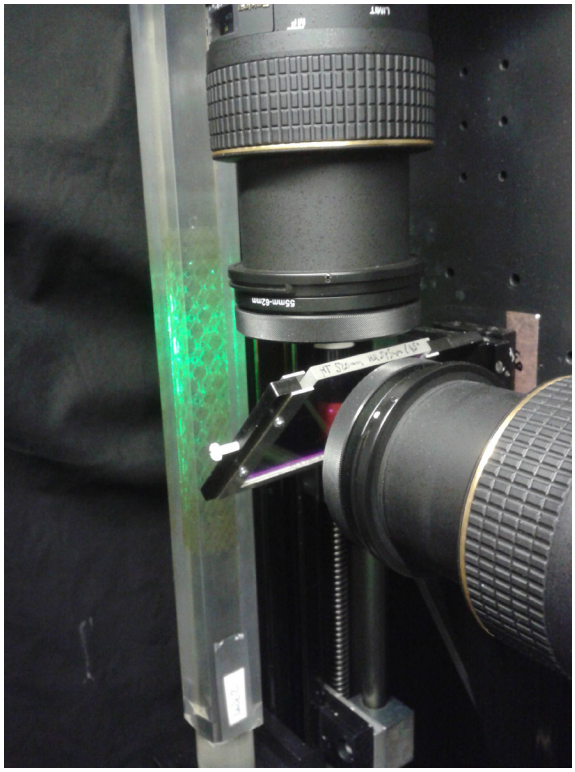
Les ressources utilisées pour l'élaboration des produits doivent être récupérées dans toute la mesure du possible à la fin de la phase d'utilisation. Les matériaux disponibles, l'énergie nécessaire à la récupération ou les possibilités de récupération d'énergie thermique ou chimique constituent des critères déterminants à cet égard. Dans ce domaine, la recherche énergétique montre comment concevoir et gérer efficacement les processus de manière à récupérer la plus grande quantité de ressources possible.

**Contrôle de la consommation d'énergie**

Des bases de données appropriées sont nécessaires pour identifier les mesures d'efficacité énergétique et évaluer leur potentiel. Les informations à relever sont les températures, les rejets de chaleur potentiels, les possibilités de synergies énergétiques ainsi que les procédés envisageables pour économiser l'énergie.

**Comportement**

Le développement et la mise en œuvre des processus de demain dépendent de la compréhension et du soutien des décideurs politiques ainsi que du savoir-faire des entreprises. C'est pourquoi la recherche énergétique doit aussi se pencher sur les outils de gestion et la formation. Des investigations doivent aussi être menées sur les obstacles et les systèmes incitatifs influant sur l'augmentation de la demande de produits dont les ressources sont optimisées. Il s'agit ici de prendre en compte la sensibilité au prix concernant des produits dont la durée de vie ou l'efficacité énergétique a été améliorée mais dont le coût est plus élevé. Les études de comportement chercheront notamment à analyser comment éviter les effets de rebond qui accompagnent souvent les mesures



*Intensification des processus: concept de réacteur novateur basé sur des structures poreuses pour la production continue et efficace de produits chimiques dans l'industrie chimique et pharmaceutique. Procédé expérimental visant à caractériser et à optimiser le concept de réacteur par rapport au transport de chaleur et de matière.*
*Image: EPFZ, P. Rudolf von Rohr*

## Sujets de recherche 2017 – 2020

La liste ci-après énumère un choix de sujets de recherche pour la période 2017–2020. Compte tenu de la conjoncture, l'efficacité des ressources doit être prioritaire. On cherchera selon les cas à équilibrer efficacité énergétique et efficacité des matériaux. Certains sujets de recherche sont liés à d'autres thèmes prioritaires.

**Processus de développement et ACV**

- Elaboration de bases de données des matériaux existants et des matériaux nouveaux[42]
- Développement de modèles de simulation permettant de choisir des chaînes technologiques performantes et économiques ainsi que des procédés novateurs visant à réduire la consommation d'énergie et des ressources
- Etude, basée sur l'analyse du cycle de vie des produits (ACV), des besoins cumulés en exergie par rapport au choix des matériaux
- Démonstration de concepts de produits exigeant un minimum d'énergie et de matières, et surtout un minimum de matériaux toxiques et polluants
- Utilisation des potentiels d'Industrie 4.0 afin de développer des produits selon les critères de l'efficacité énergétique et des matériaux dans une optique de marchés publics dynamiques

**Procédés et matériaux**

- Développement d'analyses détaillées des processus chimiques et développement de modèles de simulation soutenant la recherche de techniques de procédés novatrices et performantes en termes de ressources, au sens de l'intensification des processus; représentation à l'échelle du laboratoire
- Etude de matériaux et de technologies permettant d'améliorer l'efficacité énergétique tout au long du cycle de vie dans des applications spécifiques
- Amélioration de procédés utilisés à grande échelle (procédés catalytiques par exemple)
- Développement et amélioration de procédés biochimiques destinés à remplacer les procédés thermiques conventionnels
- Développement de bases de données et de méthodes pour la substitution technologique, fonctionnelle ou matérielle de matériaux
- Etude, basée sur l'analyse du cycle de vie des produits (ACV), de l'efficacité des ressources de matériaux novateurs et biogènes et intégration des résultats à la recherche et à l'application dans le domaine des matériaux

**Installations de production et technique énergétique**

*Installations de production*

- Utilisation de matériaux et de procédés de fabrication améliorés ou novateurs pour l'optimisation énergétique d'installations de production
- Développement de modèles de simulation numérique permettant de minimiser les besoins en énergie



*[41] Il existe aujourd'hui environ 40 000 variantes de matériaux métalliques et 40 000 variantes de matériaux non métalliques (VDI, Ressourceneffizienz durch Werkstoffsubstitution, décembre 2013)*

– Démonstration des potentiels en matière d'optimisation énergétique des applications novatrices de la sensorique et de la mécatronique utilisées pour la surveillance, le contrôle et l'entretien d'installations de production
– Développement de méthodes et de programmes permettant d'exploiter les possibilités offertes par les concepts découlant d'Industrie 4.0 pour l'amélioration de l'efficacité des ressources: intégration dans les développements des technologies Industrie 4.0
– Développement de concepts et d'algorithmes de commande permettant une adéquation optimale des flux d'énergie dans les processus en chaîne, en tenant compte de composantes novatrices destinées à la récupération et au stockage de l'énergie
– Prise en compte de l'énergie renouvelable variable et interaction avec les réseaux énergétiques, en particulier le réseau électrique intégré dans les concepts de réseau intelligent

*Technique énergétique*
– Augmentation du rendement de systèmes de propulsion par moteur électrique y compris l'amélioration du pilotage en fonction des besoins et les possibilités de récupération d'énergie; recherche sur la substitution de matières premières stratégiques
– Augmentation du rendement de systèmes de propulsion de machines par moteur à combustion et hybrides; adéquation avec les projets de recherche sur la mobilité de demain
– Amélioration énergétique de systèmes recourant à la dynamique des fluides (pompes, ventilateurs ou buses)
– Développement de systèmes de stockage de l'énergie thermique, électrique et cinétique hautement efficaces et pouvant résister à une utilisation industrielle
– Amélioration de technologies de récupération de l'énergie thermique, électrique, chimique ou cinétique pouvant aussi être utilisées à basse température et dans des flux d'énergie fortement dispersés
– Amélioration de l'efficacité énergétique et démonstration de la flexibilité d'utilisation de systèmes de couplage chaleur-force en fonction de la demande d'énergie du côté de la production, de l'offre provenant de sources d'énergie variables et du réseau électrique
– Augmentation du rendement de machines frigorifiques de 20% par rapport à l'état actuel de la technique
– Développement et démonstration de pompes à chaleur permettant d'utiliser les rejets de chaleur des processus, par exemple à des températures allant de 80 °C à plus de 120 °C

**Technologies de l'information et de la communication (TIC)**
– Nouvelle approche dans la conception de processeurs avec refroidissement intégré, amélioration de l'efficacité du conditionnement 3D des processeurs et réduction de la consommation d'énergie
– Développement de systèmes de refroidissement améliorés, notamment en ce qui concerne les possibilités de récupération d'énergie (utilisation des rejets de chaleur) dans les systèmes TIC
– Développement de logiciels répondant au critère de l'efficacité énergétique (energy aware computing)
– Développement d'instruments de planification pour la mise en œuvre de prescriptions concernant

l'efficacité énergétique de concepts TIC (outre la puissance calculée, introduction de l'efficacité énergétique en tant que norme)
- Démonstration de potentiels d'efficacité énergétique dans des systèmes TIC et des composants inédits; intégration de la recherche énergétique dans leurs processus de développement

**Phase d'utilisation**
- Développement de produits «intelligents» (autorégulés) équipés de senseurs et de systèmes mécatroniques leur permettant de minimiser de manière autonome leur consommation d'énergie pendant la phase d'utilisation
- Démonstration d'outils de contrôle basés sur le web destinés à la surveillance et au pilotage en ligne des paramètres de fonctionnement de produits (y compris l'autodiagnostic et le contrôle de la maintenance)
- Développement de concepts de réaménagement (ou rétrofit) pour l'amélioration de l'efficacité des produits sur le plan des ressources utilisées

**Contrôle de la consommation d'énergie**
- Evaluation de l'efficacité des ressources de systèmes de production tenant compte des processus en amont et en aval
- Utilisation de l'Internet des objets en tant qu'opportunité pour le monitoring de l'énergie et la gestion de l'énergie en temps réel

**Recyclage et élimination**
- Modélisation et analyse de la chaîne d'évacuation sur la base de bilans matériaux et de bilans énergétiques
- Analyse de la résilience de chaînes d'approvisionnement en matières premières pour les systèmes de production
- Développement de concepts de recyclage et d'élimination efficaces en termes d'énergie et de matériaux, destinés aux produits complexes
- Amélioration de la valorisation énergétique des déchets y compris l'utilisation des déchets de chaleur et le captage du $CO_2$

**Comportement**
- Examen des obstacles à la planification et à la mise en œuvre d'une production optimisée sur le plan énergétique; développement de solutions, y compris modèles de gestion et formation
- Etude des obstacles économiques et réglementaires et démonstration des possibilités d'amélioration
- Analyse des possibilités de commercialisation de produits et de processus optimisés sur le plan énergétique et des matériaux; développement de stratégies de marketing incluant des mesures visant à éviter les effets de rebond
- Vérification et amélioration des instruments de communication visant à informer le client sur l'efficacité de produits en matière de ressources, par exemple par un système de labellisation

# Recommandations pour la politique de recherche

La CORE recommande aux instances de promotion des pouvoirs publics de prendre appui sur le présent Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération afin d'assurer un usage ciblé des fonds publics.

**Principe d'encouragement**
Dans le domaine de l'énergie, il convient en premier lieu d'encourager la recherche énergétique appliquée. La priorité sera accordée aux domaines de recherche qui créent une importante valeur ajoutée pour la Suisse et laissent présager un apport durable à la sécurité d'approvisionnement du pays. Ainsi, la recherche énergétique doit fournir une contribution essentielle à la *Stratégie énergétique 2050* de la Suisse. Le présent concept comprend des recommandations pour la recherche énergétique qui ne sont pas en lien direct avec la *Stratégie énergétique 2050*.

Pour ce faire, il est nécessaire de disposer d'une communauté de chercheurs de haut niveau qui s'impliquent à l'échelle internationale et soient en mesure de soutenir la concurrence. L'engagement soutenu des pouvoirs publics – pour la mise en réseau des institutions de recherche, l'identification d'importants domaines technologiques d'avenir, l'encouragement de la collaboration académique internationale et la collaboration entre les hautes écoles et l'industrie – est une condition indispensable à la mise en valeur des résultats de la recherche et doit en ce sens être maintenu. Une mise en œuvre efficace et ciblée doit être appuyée par une réglementation compatible avec l'économie des éléments de propriété intellectuelle mis au point avec des fonds publics de promotion (brevets, licences, etc.).

**Renforcement de la recherche énergétique dans le domaine des EPF, dans les HES et les universités**
Soutenus par la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI), les huit pôles de compétence suisses en recherche énergétique[42] et les programme nationaux de recherche PNR 70[43] et PNR 71[44], soutenus par le Fonds national suisse (FNS) ont bien démarré et sont opérationnels. La mise en place des SCCER permet aux hautes écoles de renforcer leurs capacités en personnel dans le domaine de la recherche énergétique, un domaine qui comprend des professeurs boursiers (financés par le FNS) et bénéficie de contributions financières destinées aux infrastructures de recherche.
La CORE soutient cette politique et recommande de poursuivre le développement de centres de compétences au cours de la législature 2017–2020, conformément à la procédure approuvée par le Parlement pour la période de 2013 à 2016.

A partir de 2020, les capacités mises sur pied seront financées et assurées à long terme par les budgets ordinaires des hautes écoles et des universités.

**Recherche sectorielle de la Confédération**
La recherche sectorielle de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) joue un rôle important dans l'encouragement de la recherche énergétique suisse. Ses moyens financiers lui permettent de soutenir des technologies et des projets porteurs dont la maturité technologique se situe entre la recherche fondamentale et le marché; elle complète ainsi judicieusement l'aide du FNS et de la CTI.

L'OFEN est par ailleurs chargé par le Conseil fédéral d'assurer la participation des chercheurs suisses aux programmes de recherche de l'Agence internationale de l'énergie (AIE). Outre les contributions dont s'acquittent les différents pays, l'OFEN finance aussi les frais auxquels doivent faire face les chercheurs suisses dans le cadre des différents programmes spécifiques (implementing agreements).

Même si elle participe en tant que pays tiers aux programmes-cadres de recherche, la Suisse joue un rôle



*42) SCCER, cf. plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée», 43) «Virage énergétique», 44) «Gérer la consommation d'énergie»*

essentiel dans les programmes de recherche du réseau Era-Net (European Research Area Network). Dans ce contexte, la recherche sectorielle de l'OFEN occupe une place particulière étant donné que le financement des appels d'offres dans le domaine de l'énergie est assuré par l'OFEN.

La CORE recommande de maintenir un volume de recherche au moins équivalent à celui des années précédentes de manière à notamment garantir l'engagement international de la Suisse, – en particulier dans les programmes de recherche de l'AIE et de l'UE.

**Projets pilotes et de démonstration, projets phares**

Les moyens alloués aux projets pilotes et de démonstration et aux projets phares dans le domaine de l'énergie permettent de soutenir la politique énergétique par l'introduction accélérée de technologies innovantes sur le marché. Parallèlement, le rayonnement des innovations cleantech au-delà des frontières s'en trouve renforcé. La CORE recommande de maintenir ces ressources financières à leur niveau actuel (35 millions de francs), de continuer à évaluer de manière exigeante les demandes de projet et de prendre notamment en considération les principes de la *Stratégie énergétique 2050*.

Avec une production de 4,4 TWh, la géothermie occupe une part importante des objectifs de développement de la *Stratégie énergétique 2050*. Or il n'y a encore aucune installation de production en service à ce jour. Pour déterminer les sites adéquats de manière fiable, il est indispensable de disposer d'une connaissance exhaustive du sous-sol ce qui demande de nombreux sondages et essais de stimulation. Compte tenu des objectifs formulés dans la *Stratégie énergétique 2050*, la CORE recommande de mettre à disposition les moyens financiers correspondants pour une campagne à l'échelle nationale.

**Préservation du savoir-faire dans le domaine de l'énergie nucléaire**

La question des spécialistes de l'énergie nucléaire doit faire l'objet d'une attention particulière. La Suisse a un besoin urgent de relève non seulement pour la durée d'exploitation restante de ses centrales nucléaires, mais également pour le temps de fonctionnement résiduel et la phase de démantèlement, soit encore pendant 3 à 4 décennies. Elle a notamment besoin d'experts dans les domaines de la prévention, de la réduction et du stockage des déchets radioactifs. Il est en outre nécessaire de conserver des compétences spécifiques afin de pouvoir suivre les développements dans le domaine de la technique nucléaire.

Si l'on veut former ces spécialistes et bénéficier de leurs compétences sur le long terme, il importe de mener un minimum d'activités de recherche dans le domaine nucléaire.