



Schweizerische Eidgenossenschaft  
 Confédération suisse  
 Confederazione Svizzera  
 Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

# Plan directeur de la recherche énergétique 2013–2016





## Résumé

En 2009, les collectivités publiques ont investi 213,5 millions de francs (MCHF) dans la recherche énergétique, dont 54 % ont été mis à disposition par le Domaine des EPF. Avec une part de 16 %, l'OFEN a été le deuxième bailleur de fonds, devant l'UE (actuellement grâce à son 7<sup>e</sup> Programme-cadre de recherche et de développement technologique PCRDT, 11 %).

L'OFEN consacre la plus grande part de ses moyens financiers, soit près de 9 MCHF, à des projets exécutés dans le domaine *Utilisation efficace de l'énergie*, un autre montant de 8 MCHF à des projets du domaine *Énergie renouvelable* et environ 3 MCHF à la coordination, y compris la participation à des programmes internationaux, ceux de l'UE et – surtout – ceux de l'Agence internationale de l'énergie (AIE). Un solde de 5 MCHF reste à disposition pour des projets pilotes et de démonstration.

### Soutien de la recherche énergétique par l'OFEN

Avec ses programmes de recherche, l'OFEN couvre presque tout l'éventail de la recherche énergétique. Ceux consacrés à la recherche nucléaire y tiennent une place à part. L'OFEN fonctionne en effet seulement comme organe d'information pour les trois programmes *Fusion nucléaire*, *Technique et sécurité nucléaires* et *Recherche*

*réglementaire en sécurité nucléaire*, mentionnés dans le présent *Plan directeur*. La fixation des objectifs et la répartition des moyens financiers relèvent dans ces cas de la compétence du Secrétariat d'Etat à la formation, à la recherche et à l'innovation (SEFRI), respectivement du Conseil des Écoles polytechniques fédérales CEPF ainsi que de l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire IFSN. Seul le programme de recherche *Déchets radioactifs* est du ressort de l'OFEN.

Mis à part ces quatre programmes de recherche relevant de l'énergie nucléaire, l'OFEN conduit aujourd'hui 20 programmes de recherche énergétique, dont neuf se rapportent au domaine *Utilisation efficace de l'énergie*, dix au domaine *Énergie renouvelable* et un au domaine *Énergie-économie-société EES*.

### Intégration internationale

L'intégration des chercheurs suisses dans les programmes internationaux de recherche – en particulier dans ceux de l'UE (ses Programmes-cadres de recherche et de développement technologique PCRDT) et ceux de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) – est l'une des principales missions de l'OFEN.

À cet effet, l'OFEN est représenté dans les principaux organes concernés de l'UE et

de l'AIE et peut y faire valoir directement ses demandes.

### Assurance qualité dans la recherche énergétique

Les offices fédéraux qui procèdent à une recherche sectorielle dans l'accomplissement de leurs tâches (dite « *Ressortforschung* ») sont tenus d'observer les *Directives pour l'assurance qualité dans les activités de recherche de l'administration fédérale*, édictées en 2005 par la Présidence du Comité de pilotage du domaine formation-recherche-technologie FRT.

Durant la période 2013-2016, l'OFEN développera un système d'assurance qualité allant dans ce sens, pour pouvoir retracer toutes les décisions importantes prises suite à l'adjudication de projets de recherche, depuis les premières prises de contact jusqu'à la fin du projet.

### Entrée en vigueur

Le Plan directeur de la recherche énergétique de l'Office fédéral de l'énergie 2013–2016 entrera en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2013.

Le Plan directeur est publié en allemand et en français.

## Table des matières

<b>Résumé</b> .....	<b>1</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Introduction</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Aperçu des domaines d'action</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 État de la recherche</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 Orientation stratégique de la recherche énergétique de l'OFEN</b> .....	<b>5</b>
2.2.1 Les Plans directeurs de la recherche énergétique de la Confédération et de l'OFEN .....	5
2.2.2 Le Masterplan Cleantech .....	6
<b>2.3 Mandat légal (lois spéciales)</b> .....	<b>7</b>
2.3.1 Projets de recherche, projets pilotes et de démonstration.....	7
2.3.2 Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) .....	7
<b>2.4 Rétrospective de la période 2008–2011</b> .....	<b>7</b>
<b>2.5 Financement</b> .....	<b>14</b>
<b>2.6 Défis et moyens nécessaires</b> .....	<b>16</b>
<b>3 Centres de gravité de recherche pour la période 2013–2016</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 Utilisation efficace de l'énergie</b> .....	<b>17</b>
3.1.1 Accumulateurs et Supercondensateurs .....	17
3.1.2 Piles à combustible .....	18
3.1.3 Technologies et utilisations de l'électricité .....	20
3.1.4 Énergie dans les bâtiments.....	21
3.1.5 Centrales à gaz 2020 & CCS .....	23
3.1.6 Réseaux .....	24
3.1.7 Combustion .....	26
3.1.8 Technologie des procédés .....	28
3.1.9 Transports .....	30
<b>3.2 Énergie renouvelable</b> .....	<b>31</b>
3.2.1 Biomasse et énergie du bois.....	31
3.2.2 Géothermie.....	33
3.2.3 Solaire industriel à haute température .....	35
3.2.4 Photovoltaïque .....	37
3.2.5 Chaleur solaire et stockage de chaleur .....	38
3.2.6 Barrages.....	40
3.2.7 Force hydraulique.....	42
3.2.8 Hydrogène .....	43
3.2.9 Pompes à chaleur et technique du froid.....	44
3.2.10 Énergie éolienne .....	46
<b>3.3 Énergie nucléaire</b> .....	<b>48</b>
3.3.1 Fusion nucléaire .....	48
3.3.2 Technique et sécurité nucléaire .....	48
3.3.3 Déchets radioactifs.....	48
3.3.4 Recherche réglementaire en sécurité nucléaire .....	49
<b>3.4 Programmes transversaux</b> .....	<b>50</b>
3.4.1 Énergie–économie–société .....	50
3.4.2 Projets pilotes et de démonstration.....	51

<b>4</b>	<b>La recherche énergétique de l'OFEN dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050 ..</b>	<b>52</b>
4.1	Le plan d'action « Recherche énergétique suisse coordonnée » .....	52
4.2	Conséquences sur la recherche énergétique de l'OFEN .....	52
<b>5</b>	<b>Financement pour la période 2013–2016 .....</b>	<b>54</b>
<b>6</b>	<b>Acteurs et interfaces .....</b>	<b>55</b>
6.1	Principaux acteurs .....	55
6.2	Interfaces avec le Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS) .....	56
6.2.1	Programmes nationaux de recherche (PNR) achevés et en cours .....	56
6.2.2	Pôles de recherche nationaux (PRN) achevés et en cours .....	56
6.3	Interfaces avec la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI) .....	56
6.4	Interfaces avec les offices fédéraux et d'autres services fédéraux.....	57
6.5	Collaboration internationale .....	59
6.5.1	Agence internationale de l'énergie (AIE).....	59
6.5.2	Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN).....	60
6.5.3	UE : comités consultatifs .....	60
6.5.4	UE : réseaux <i>ERA-NET</i> , plateformes technologiques ETP .....	60
6.5.5	REPIC .....	61
6.5.6	Smart-Grids D-A-CH .....	61
6.5.7	International Partnership for Geothermal Technology (IPGT) .....	61
<b>7</b>	<b>Organisation et assurance qualité .....</b>	<b>62</b>
7.1	Organisation interne .....	62
7.1.1	Organisation des programmes de recherche.....	62
7.1.2	Projets pilotes et de démonstration.....	62
7.1.3	Conseil externe par des commissions d'accompagnement.....	63
7.1.4	Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) .....	63
7.1.5	Groupe d'accompagnement.....	63
7.1.6	Assurance qualité (objectifs pour la nouvelle période) .....	64
7.2	Transfert de savoir et de technologie .....	64
<b>Annexes</b> .....	<b>65</b>	
B.	La recherche de l'administration publique fédérale .....	65
C.	Bases légales spécifiques .....	65
D.	Coordination de la recherche dépendant de l'administration fédérale .....	66
E.	La banque de données ARAMIS .....	66
F.	Assurance qualité dans la recherche dépendant de l'administration fédérale .....	67
<b>Notes</b> .....	<b>67</b>	

# 1 Introduction

Le Plan directeur de la recherche énergétique de l'Office fédéral de l'énergie 2013–2016 est dans la droite ligne du Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2013–2016<sup>i</sup>, élaboré par la Commission fédérale de la recherche énergétique (CORE) (chapitre 2.2.1). Pour sa mise en œuvre, l'Office fédéral de l'énergie dispose de moyens propres engagés de façon subsidiaire à ceux des institutions de recherche tant privées que publiques. La coordination des travaux est assurée par l'intermédiaire des programmes de recherche de l'OFEN (chapitre 3).

L'accompagnement de ces programmes de recherche est pris en charge par les chefs de programme respectifs de l'OFEN<sup>ii</sup>. Pour la transposition des résultats vers le marché, ceux-ci sont soutenus par les programmes Transfert scientifique et technologique et SuisseEnergie de l'OFEN.

Les chefs de programme rendent compte chaque année de leurs activités dans les rapports de synthèse qui sont publiés séparément et rassemblés dans un recueil sur le site web de la recherche énergétique de l'OFEN<sup>iii</sup>. En outre, l'OFEN dresse tous les deux ans la Liste des projets de la recherche énergétique de la Confédération<sup>iv</sup> qui renseigne sur les dépenses des pouvoirs publics au titre de la recherche énergétique, ainsi que sur la composition des flux de financement.

Selon la dernière liste établie pour les années 2008/2009, près de 54 % des 213,5 MCHF alloués par les pouvoirs publics en 2009 provenaient du Domaine des

EPF. Avec une part de 16 %, l'OFEN occupe encore le deuxième rang des bailleurs de fonds, devant l'UE (11 %).

La plus grande part des moyens financiers étaient inscrits au titre de l'utilisation efficace de l'énergie (77,8 MCHF) alors que 67,1 MCHF étaient attribués aux énergies renouvelables et 54,3 MCHF à l'énergie nucléaire. 14,4 MCHF étaient consacrés à la recherche socio-économique.

## Les Plans directeurs de la recherche de la Confédération et de l'OFEN

La recherche énergétique est régie à la fois par le Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2013–2016 et par le Plan directeur de la recherche énergétique de l'Office fédéral de l'énergie 2013–2016 élaboré par l'OFEN.

Le **Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération** est publié depuis 1986 et remanié tous les quatre ans. Il doit, d'une part, servir d'instrument de planification aux instances fédérales chargées d'encourager la recherche comme l'OFEN ou le SEFRI mais aussi le Domaine des EPF, et, d'autre part, servir de guide aux services cantonaux et communaux chargés de mettre en œuvre les directives en matière de politique énergétique. Par ailleurs, il informe les chercheurs et les institutions de recherche intéressés sur les domaines de recherche que le Conseil fédéral considère prioritaires.

Ce plan directeur décrit les objectifs définis pour l'ensemble des pouvoirs publics avec les quatre priorités « Habitat et travail », « Mobilité », « Systèmes énergétiques » et « Processus ». Ses publics-cibles sont principalement les institutions d'encouragement et les chercheurs.

Le **Plan directeur de la recherche énergétique de l'Office fédéral de l'énergie** définit des objectifs concrets pour les différents programmes de recherche de l'OFEN qui s'alignent cependant bien sur les objectifs du Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération.

Concernant la période 2013–2016, les services fédéraux qui font de la recherche sectorielle sont tenus de présenter leur plan directeur de la recherche sous une forme uniformisée qui montre notamment la collaboration et les interfaces avec les autres offices fédéraux, le domaine des hautes écoles, les programmes d'encouragement du Fonds national suisse (FNS) et la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI). De plus, ils doivent présenter les objectifs pour la période 2013–2016.

Ses publics-cibles sont principalement les instances politiques de la Confédération, en particulier les représentantes et les représentants du Parlement, mais aussi les chercheurs qui peuvent s'informer via les objectifs décrits dans le Plan directeur de la recherche énergétique sur les chances des projets de recherche d'être soutenus par l'OFEN.



## 2 Aperçu des domaines d'action

### 2.1 État de la recherche

Avec ses programmes de recherche, l'OFEN soutient des projets novateurs dans tous les domaines de la recherche énergétique. Étant donné que les niveaux de maturation sont souvent très divers d'un do-

maine de recherche à l'autre pour ce qui est des perspectives de débouchés sur le marché, l'état de la recherche est très différente pour chacun des programmes évoqués au chapitre 3. En lieu et place d'une

synthèse générale de l'état actuel de la recherche, des commentaires individuels sont faits pour chacun des programmes de recherche, avec la description de leurs principaux résultats.

### 2.2 Orientation stratégique de la recherche énergétique de l'OFEN

À côté du soutien actif apporté à des projets de recherche risqués au plan économique et des interventions visant à combler les lacunes observées dans le transfert de savoir et de technologie, la conduite de la recherche menée par l'OFEN se préoccupe, en priorité, de l'intégration des

chercheurs suisses aux niveaux national et international. Grâce à un vaste réseau de relations, développé depuis plusieurs décennies, l'OFEN prospecte activement les projets prometteurs, crée des liens entre ceux qui ont une visée semblable et peut mettre les chercheurs en relation avec des

baillleurs de fonds potentiels. De ce point de vue, les activités de promotion de la recherche de l'OFEN se distinguent de celles des autres instances de soutien à la recherche.

#### 2.2.1 Les Plans directeurs de la recherche énergétique de la Confédération et de l'OFEN

Pour la promotion de la recherche énergétique, l'OFEN s'aligne sur les objectifs définis dans le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2013–2016*<sup>1</sup>.

Ce document définit quatre thématiques prioritaires, auxquelles il est possible de rattacher pratiquement tous les domaines de la recherche énergétique et qui reflètent la vie de tous les jours, avec les besoins énergétiques correspondants. Ces quatre thématiques prioritaires sont également reconnues d'importance stratégique à l'étranger, en vue d'améliorer l'efficacité énergétique et pour réduire les émissions. Chacune d'entre elles est illustrée par un principe directeur :

- *Habitat et travail de demain* : vers un parc immobilier énergétiquement efficace et à émissions zéro.
- *Mobilité de demain* : consommation réduite de carburants grâce à une mobili-

té efficace et à des systèmes de propulsion innovants.

- *Systèmes énergétiques de demain* : des systèmes énergétiques « intelligemment » interconnectés pour un approvisionnement énergétique sûr et durable.
- *Processus de demain* : réduire de moitié la consommation des ressources et les charges pour l'environnement sur l'ensemble du cycle de vie des produits.

#### Coordination étroite entre les deux Plans directeurs.

Lors de l'élaboration du *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération* déjà, l'étroite collaboration instaurée entre l'OFEN et la CORE a permis de structurer directement les programmes de recherche de l'OFEN suivant les objectifs de la Confédération, et de les grouper pour former le *Plan directeur de la recherche*

*énergétique de l'Office fédéral de l'énergie 2013–2016*.

#### Plan directeur de la recherche énergétique de l'OFEN: principes directeurs

Au niveau de l'OFEN, la recherche énergétique s'oriente selon les principes directeurs suivants :

**1. Approche globale** : l'approche de la recherche énergétique doit être globale. L'attention porte avant tout sur les relations entre la technique et l'environnement, ainsi que sur les aspects socio-économiques. Les projets inter- et transdisciplinaires doivent être encouragés.

**2. Projets de recherche orientée** : l'OFEN soutient en premier lieu la recherche énergétique orientée et appliquée. Ce faisant, il vise à développer des centres de compétences, qui mènent des recherches technologiques orientées selon des objectifs en

collaboration étroite avec l'industrie. L'OFEN s'engage aussi, en particulier, pour la promotion de thèmes d'avenir dont l'économie privée ne s'est pas encore saisie.

**3. Création de valeur en Suisse :** la recherche énergétique conduite par l'OFEN donne la priorité aux projets qui sont traités par des groupes de chercheurs compétents, qui laissent espérer une forte valeur ajoutée pour la Suisse ou qui contribuent de manière significative au développement durable.

C'est pourquoi un projet de recherche énergétique ne pourrait être soutenu à l'étranger que s'il en résultait une création de valeur en Suisse également – au plan économique ou scientifique.

**4. Accent mis sur la sécurité d'approvisionnement :** conformément à sa stratégie interne, l'OFEN oriente la recherche énergétique qu'il soutient, en tenant compte de la sécurité d'approvisionnement de la Suisse

et de l'efficacité du transfert de savoir et de technologie.

**5. Promotion de la relève scientifique :** la formation et le maintien de groupes de recherche bien dotés en personnel et en moyens permettent d'assurer la continuité. Cela implique d'encourager la relève scientifique et technologique.

**6. Développement de la mise en réseau :** l'OFEN encourage la mise en réseau des institutions de recherche et d'enseignement qui fonctionnent comme centres de compétences spécialisés reconnus au niveau international.

**7. Coopération avec l'économie privée :** l'engagement des moyens financiers de la Confédération dans l'économie privée se fait suivant le principe de participation, qui implique un investissement des entreprises dans les institutions de recherche publiques, de telle sorte que des projets prometteurs trouvent des débouchés pratiques. Des encouragements sont égale-

ment nécessaires pour initier une dynamique industrielle propre. L'utilisation par l'économie de résultats acquis avec des fonds publics est rendue possible par le biais de la propriété intellectuelle (brevets, licences).

**8. Collaboration internationale :** Une recherche de qualité a toujours une orientation internationale. La collaboration internationale renforce l'efficacité des moyens investis. Elle implique – pour ce qui concerne notamment les projets de l'AIE et de l'UE – une participation active et des contributions reconnues et de haute qualité de la part de la Suisse. C'est la raison pour laquelle l'OFEN est actif dans les principaux organes de l'AIE et de l'UE dans le domaine de la recherche énergétique, ce qui lui permet de représenter les intérêts des chercheurs suisses de manière appropriée. La collaboration internationale dépasse le cercle des pays industrialisés et s'étend aux pays en voie de développement.

## 2.2.2 Le Masterplan Cleantech

En septembre 2011, le Conseil fédéral a pris connaissance du Masterplan Cleantech – Une stratégie de la Confédération en matière d'efficacité des ressources et d'énergies renouvelables, qui propose différentes mesures pour renforcer la recherche énergétique en Suisse, notamment :

- l'amélioration des synergies entre les différentes possibilités d'encouragement de la recherche au niveau fédéral ;
- le renforcement du soutien étatique aux installations pilotes et de démonstration ;
- le rassemblement des compétences fragmentées entre divers institutions de recherche dans des centres d'excellence et de compétences ;

- le regroupement des activités de transfert de savoir et de technologie dans un programme commun ;
- l'augmentation des moyens alloués à la recherche orientée et appliquée, au même rythme que ce qu'il en est pour la recherche libre et fondamentale, et le renforcement de l'ancrage dans les mandats de prestations du Domaine des EPF ;
- la promotion de la relève en matière de recherche et de développement dans les Hautes Écoles et le renforcement des programmes de soutien à la relève du Fonds national suisse de la recherche scientifique.

Pour ce qui concerne la recherche énergétique, l'OFEN est surtout actif au niveau des quatre premières mesures. Il engage en particulier ses moyens financiers et per-

sonnels, pour promouvoir l'objectif du *Masterplan Cleantech* suisse, soit pour améliorer la chaîne de création de valeur et pour atteindre de meilleurs résultats dans l'innovation. Avec leurs objectifs spécifiques, les programmes de recherche contribuent alors soit à augmenter l'utilisation efficace de l'énergie, soit à favoriser le recours à l'énergie renouvelable. L'OFEN reprend finalement les résultats issus de la recherche grâce à son programme *Transfert de savoir et de technologie (TST)* et, parmi d'autres activités, favorise leur valorisation, par l'intermédiaire du programme *ÉnergieSuisse*. Également représenté dans le domaine d'encouragement *Ingénierie* de la Commission pour la technologie et l'innovation, l'OFEN est présent à tous les niveaux de la chaîne de création de valeur, jusqu'à et y compris la recherche proche du marché et des produits.



## 2.3 Mandat légal (lois spéciales)

L'art. 64 de la Constitution fédérale (RS 101) justifie l'engagement de la Confédération en matière de recherche et de soutien à la recherche; il prévoit que la Confédération peut soutenir la recherche scientifique et l'innovation. Les activités de recherche de l'administration fédérale sont précisées dans la loi sur l'encouragement de la recherche et de l'innovation (LERI, RS 420.1) : l'administration fédérale y est dési-

gnée comme organe de recherche, dans la mesure où elle confie des mandats de recherche à des tiers ou finance directement des recherches (art. 5). La Confédération encourage la recherche au titre de la LERI et de lois spéciales, en particulier par des contributions directes (art. 6). Pour l'accomplissement de tâches d'intérêt public, les Départements peuvent attribuer des mandats de recherche ou participer aux

dépenses qu'entraînent l'exécution de projets de recherche (art. 16). Suivant l'art. 24, les institutions chargées d'encourager la recherche sont tenues d'établir des programmes pluriannuels, qui informent sur les activités prévues. Pour promouvoir la recherche, l'OFEN s'appuie en outre aussi sur les bases légales citées plus bas.

### 2.3.1 Projets de recherche, projets pilotes et de démonstration

Outre la LERI, les lois et ordonnances suivantes jouent un rôle pour le subventionnement direct de projets :

- *Loi sur l'énergie* LEnE (RS 730.0), art. 12 et 14 ;
- *Loi sur les subventions* LSu (RS 616.1), art. 11 et 23 ;
- *Loi sur l'énergie nucléaire* LEnu (RS 732.1), art. 86 ;

- *Loi sur l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire* LIFSN (RS 732.2), art. 6 ;
- *Loi sur le CO<sub>2</sub>* (RS 641.71) ;
- *Loi fédérale sur la police des eaux* (RS 721.10), art. 3<sup>bis</sup> ; elle sera remplacé par la nouvelle loi fédérale du 1.10.2010 sur les ouvrages d'accumulation, dont la date d'entrée en vigueur

n'est pas encore fixée (probablement en janvier 2013) ;

- *Ordonnance sur la sécurité des ouvrages d'accumulation* (RS 721.102) : elle fera l'objet d'une révision totale (en préparation), dont la date d'entrée en vigueur n'est pas encore fixée (probablement en janvier 2013).

### 2.3.2 Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE)

Les travaux de la CORE se font en application des règlements spéciaux suivants :

- Décision du Conseil fédéral concernant la création de la Commission fédérale pour la recherche énergétique ;

- Loi sur l'organisation du gouvernement et de l'administration LOGA (RS 172.010), art. 57 ;
- Commissions extraparlimentaires : catalogue des critères pour l'examen se-

lon l'art. 57d de la loi du 21 mars 1997 sur l'organisation du gouvernement et de l'administration (LOGA, RS 172.010).

## 2.4 Rétrospective de la période 2008–2011

En moyenne, la recherche énergétique de l'OFEN porte en permanence sur 300 projets de recherche et sur 50 à 60 projets pilotes et de démonstration (avec participation de l'OFEN). Leur suivi a été à nouveau assuré de près durant la période 2008–2011. Les résultats obtenus par chacun des programmes de recherche sont présentés de manière détaillée dans les rap-

ports de synthèse annuels des chefs de programme<sup>ii</sup>.

Ci-après, on trouvera de brèves rétrospectives des programmes de recherche, classées par ordre alphabétique.

#### Accumulateurs

Durant les années 2000 à 2008, le thème *Accumulateurs* était intégré dans le pro-

gramme de recherche *Transports*. Vu la relative modestie des moyens disponibles, seuls quelques thèmes choisis ont pu être développés par la suite. Comme une PME internationalement reconnue dans le domaine des batteries à haute température était domiciliée en Suisse, la recherche s'est focalisée sur ce type d'accumulateurs, avec pour buts, entre autres, d'abaisser leur température de fonctionne-

ment et d'allonger leur durée de vie. À l'échelle expérimentale, les accumulateurs testés ont pu fonctionner à des températures proches de 100 °C au lieu des 270 à 350 °C usuels.

## Barrages

Deux projets ont été menés durant la période considérée :

*Réaction alcaline des agrégats (RAA) dans le béton des barrages* : Dans un ouvrage, le béton est soumis à des contraintes complexes qui agissent sur le développement de microfissures dues à la RAA, dans les grains d'agrégats et dans les pierres du ciment. Un programme combinant les essais et les simulations a été réalisé pour étudier la détérioration des caractéristiques des bétons concernés. Grâce à l'élaboration d'un modèle informatique très performant, cela a permis d'expliquer les causes de déformations jusque là mal comprises.

*Rupture de digues dans de petits barrages* : transport de matières solides et propagation de crues dans de fortes déclivités : Les phénomènes d'érosion qui se produisent à la suite de l'onde résultant de la rupture d'une digue peuvent être compris grâce à la mise en œuvre de nouvelles techniques optiques (vitesses, concentrations). La campagne de mesures est maintenant achevée. Des essais systématiques ont permis d'étudier le transport de matières solides sur de fortes pentes; ils ont montré que des blocs de grande taille encombrant le lit des cours d'eau influencent grandement le transport de matières solides. L'analyse des paramètres est en cours.

## Biomasse et énergie du bois

Les projets exécutés pour l'optimisation et pour l'intégration des installations de production de biogaz ont porté sur la détermination des émissions diffuses de méthane.

Dans cet ordre d'idée, le thème des émissions d'odeurs a également été traité. Une autre question importante concernait l'amélioration de l'efficacité biologique (taux de dégradation) dans les installations de pro-

duction de biogaz, par la mise en œuvre de différentes méthodes de prétraitement des substrats. Enfin, de nouveaux procédés et de nouvelles technologies ont été développés, respectivement améliorés, comme la gazéification hydrothermale catalytique de biomasse à haute teneur en eau, qui est aujourd'hui en phase pilote.

Dans le cadre du développement commercial d'installations pour la gazéification du bois, des améliorations ont été apportées à des systèmes existants, pour augmenter leur rendement en épurant les gaz de manière efficace, par exemple, par la désulfuration à haute température. Une autre méthode est depuis peu à l'étude pour mesurer *on-line* les composés alcalins présents dans le gaz de synthèse (provenant, par exemple, de la gazéification du bois). Les émissions de poussières fines issues des chauffages au bois représentent un thème de recherche important. Un projet a en outre débuté dans le domaine de la biomasse ligneuse, en vue de développer une station pilote de cogénération alimentée au bois et équipée d'une turbine à air chaud.

Pour ce qui est de l'assurance qualité, les données de base des écobilans ont été actualisées, respectivement complétées pour tenir compte des nouvelles connaissances.

## Centrales à gaz 2020 & CCS

Des progrès ont été atteints dans la fixation des objectifs du programme de recherche, en élevant à au moins 62 % le rendement des centrales à gaz et des centrales à cycle combiné : en Allemagne, une installation de référence construite par la société Siemens a atteint en 2011 un rendement électrique de 60,8 %. Avec des turboalternateurs refroidis à l'air, l'efficacité de la ventilation a dépassé 99 %, en en réduisant avec succès les pertes à l'extrême. En 2009, le programme a été étendu au thème de la fixation et du stockage du dioxyde de carbone (*Carbon Dioxide Capture and Storage*, CCS), pour présenter, dans ce domaine également, des options permettant de respecter l'exigence de compensation nationale des émissions de CO<sub>2</sub> fixées par

la loi. Sur le Plateau suisse, le potentiel de stockage est évalué, à un maximum de 2'700 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> (soit à peu près 70 fois les rejets annuels de CO<sub>2</sub> de la Suisse).

Le programme se trouve maintenant dans une phase de renouvellement de son catalogue de projets, qui prend cette orientation modifiée de façon toujours plus nette (avec le poids accru des thèmes concernant le CCS). De nouveaux projets combleront de grosses lacunes, par exemple, en matière du recours au biogaz dans les centrales industrielles, du refroidissement des alternateurs et de l'intégration des centrales au réseau, pour ce qui concerne notamment la stabilité de fonctionnement face aux variations de charge ; ils servent à compléter l'étude des thèmes prioritaires.

## Chaleur solaire et stockage du chaleur

Durant la période écoulée, des développements ont pu être réalisés et des avancées commerciales préparées dans les domaines suivants : revêtements thermochromes d'absorbeurs, intégration architectonique de capteurs solaires thermiques, comportement des capteurs et de champs de capteurs à la stagnation, faisabilité du refroidissement par le solaire thermique, systèmes combinés de pompes à chaleur et de solaire thermique, systèmes solaires à module d'eau chaude sanitaire instantanée. Un projet pilote lancé pour le stockage saisonnier de chaleur d'un grand bâtiment à Genève, a cependant été interrompu après que des études complémentaires effectuées en 2011 eurent mis en évidence un risque de tassement du sous-sol.

Le stockage thermochimique à l'aide de soude caustique (NaOH), l'amélioration des matériaux à changement de phase (MCP) pour le stockage de chaleur et le développement d'un collecteur en polymère extrudé ont en revanche moins progressé que prévu.

## Combustion

Un prototype de gros moteur diesel a retenu l'attention au plan international. Dans

le cadre d'un projet cofinancé par l'UE, Wärtsilä, ABB, l'EPFZ et le PSI ont pu améliorer l'injection de carburant et traduire rapidement ces premiers résultats dans la pratique. Le projet suivant examine déjà les mesures à prendre pour réduire la formation de suie. Dans le cadre d'un projet réalisé en commun entre l'Allemagne et la Suisse, des études ont porté sur les indices d'octane de carburants pour la combustion homogène par auto-allumage, tandis que les résultats ont pu être représentés en 3-D avec un procédé mis au point à l'EPFZ. Le développement de méthodes de mesure par spectrométrie de masse, utilisant le faisceau de lumière générée par la Source de lumière suisse SLS, a permis au PSI de déterminer la production d'enthalpie des radicaux intervenant dans les processus d'allumage. Le projet a trouvé sa place dans une activité de recherche européenne COST<sup>V</sup> et se poursuit. Des études portent en outre sur l'influence de la composition des biodiesels sur le traitement des gaz brûlés : une teneur élevée en biocarburant améliore la régénération du filtre à particules, mais augmente la production de cendres.

### Déchets radioactifs

Le programme de recherche Déchets radioactifs a débuté en 2009. Dans le domaine des sciences humaines et sociales, les trois projets Communication avec la société, Étude bibliographique sur le marquage des dépôts en couches géologiques profondes et Valeurs personnelles et opinions concernant la gestion des déchets radioactifs ont été réalisés. En 2011, dans le domaine du marquage des dépôts en couche géologique profonde, une étude de l'OCDE a pu être lancée pour trois ans, au niveau international, en prolongement de l'étude bibliographique précitée. Le projet Comparaison de la gestion des déchets présente les pratiques de gestion des déchets conventionnels et des déchets radioactifs en Suisse.

Les trois projets *Dépôt pilote : dimensionnement et inventaire*, *Concept et équipements de surveillance*, et *Dimensionne-*

*ment de dépôts* ont démarré dans le courant du deuxième semestre 2010. Ils portent sur les exigences que le dépôt principal et le dépôt pilote associé doivent remplir du point de vue des sciences naturelles et de la technique. Ces trois projets vont se poursuivre durant la période 2013–2016.

### Énergie dans les bâtiments

Durant la période 2008–2011, des progrès décisifs ont été accomplis pour les cinq centres de gravité du programme de recherche. Dans le domaine *Concepts de bâtiments et de lotissements*, des résultats ont été obtenus pour le catalogue électronique des éléments de construction, pour l'instrument de vérification Minergie-Eco et pour un guide de développement des quartiers et des sites compatible avec les 2000 watts. Dans le domaine *Rénovation énergétique des bâtiments* un projet de l'AIE a démarré pour optimiser les solutions de rénovation, en tenant compte tant de l'énergie que des gaz à effet de serre. De nombreux projets ont été réalisés dans le domaine *Technique du bâtiment* en vue d'améliorer l'efficacité énergétique, depuis la climatisation passive, jusqu'au pilotage intelligent de l'aération, de l'ombrage et de l'éclairage, etc. Très peu de projets ont pu être soutenus dans le domaine *Consommation d'électricité*. Les consommations électriques de divers types de bâtiments ont été analysées, pour disposer d'une base de calcul améliorée de ces valeurs de consommation. Dans le domaine *Matériaux et composants novateurs* les recherches ont permis de résoudre quelques problèmes liés à la fabrication de fenêtres à vitrages isolés par du vide et de développer le canevas d'une déclaration concernant les isolations par le vide utilisées dans la construction.

En complément des cinq centres de gravité du programme de recherche, des projets pilotes ont été soutenus, à titre de démonstration, en particulier dans le domaine de la rénovation et des applications de technologies et de systèmes innovants dans

les bâtiments existants ou nouvellement construits.

### Énergie–économie–société

Durant la période 2008–2011, ce programme de recherche s'est développé dans trois directions principales : (i) développement méthodique des modèles pour les perspectives énergétiques, (ii) approfondissement de la connaissance des processus d'innovation en matière de technologies énergétiques et (iii) analyse des comportements individuels et collectifs en relation avec l'énergie. Des progrès significatifs ont été accomplis dans ces trois domaines, ainsi qu'au niveau d'études complémentaires réalisées au sujet du comportement des consommatrices et des consommateurs en matière d'investissements et d'achats. Plusieurs ateliers ont été organisés sur des thèmes particuliers et divers articles publiés dans des revues internationales.

### Énergie éolienne

Des connaissances particulières ont pu être rassemblées en Suisse, en particulier au sujet du givrage (revêtement antigel pour les pales des rotors des éoliennes), de la prévision de la production en terrain accidenté et des risques de collision pour les oiseaux. Elles sont déjà appliquées.

La Suisse a acquis une renommée internationale en développant des activités de recherche dans les domaines « Exploitation d'éoliennes en conditions turbulentes et givrantes » et « Acceptabilité sociale des éoliennes ». L'intérêt que la scène internationale porte aux résultats acquis en Suisse en matière d'énergie éolienne démontre la qualité des projets de recherche exécutés.

### Force hydraulique

Différents projets sont soutenus dans le domaine de la grande hydraulique, au sujet des centrales à accumulation et de pompage-turbinage (par exemple, pour éviter l'envasement des bassins de retenue), de la construction et de l'exploitation des conduites forcées et des changements des condi-

tions-cadres. Pour la petite hydraulique, des études ont été réalisées sur l'ensemble du territoire suisse à l'aide d'un SIG pour évaluer le potentiel exploitable ; dans l'intervalle, les résultats ont été mis à disposition des Cantons pour leur propre planification. Des facteurs limitants, comme la protection des eaux et celle du paysage, ont alors été pris en compte. De nombreux projets individuels réalisés pour la petite hydraulique visaient à résoudre des problèmes de technique, d'exploitation et d'écologie. La production de courant dans les réseaux d'eau potable à l'aide de turbines dites à contre-pression a ainsi été encouragée, des études ont été effectuées pour améliorer la libre circulation de la faune piscicole, de nouvelles idées ont été examinées et mises en valeur pour exploiter de très petites chutes d'eau et des solutions ont été recherchées pour résoudre les problèmes liés au transport de matières solides dans les installations à basse pression.

### Fusion nucléaire

Le « Centre de recherche en physique des plasmas » (CRPP) de l'EPFL a poursuivi ses activités dans le cadre du développement du réacteur expérimental « *International Thermonuclear Experimental Reactor* » (ITER). Les travaux du CRPP se sont déroulés sur deux sites : à l'EPFL, où le confinement magnétique du plasma est étudié avec le « Tokamak à configuration variable » (TCV), et au PSI, où la recherche porte sur la supraconductivité et sur les matériaux. Le TCV de l'EPFL présente deux propriétés uniques au monde. D'une part, une grande flexibilité de conception et de fonctionnement autorisent la création et le contrôle de plasmas de formes très différentes. Cela permet la vérification de modèles numériques et soutient la planification de la géométrie de futurs réacteurs. D'autre part, l'injection ciblée d'ondes millimétriques permet de varier le mode de chauffage du plasma confiné dans le TCV.

Le Département de physique de l'Université de Bâle a poursuivi ses travaux concernant le système de miroirs de diagnostic

d'ITER. La recherche s'y concentre sur le revêtement au rhodium et au molybdène des miroirs exposés au plasma.

### Géothermie

La recherche se focalise sur la production de chaleur et d'électricité par la géothermie profonde. Les analyses des sites rapprochent de la réalisation les projets de Saint-Gall, de Lavey-les-Bains et de La Côte dans le Canton de Vaud, du Canton de Genève, de Brigerbad et de Winterthur. Interrompu, le projet bâlois *Engineered Geothermal System* (EGS) a permis de mieux comprendre les risques sismiques et d'élaborer une méthode d'analyse correspondante. Les résultats de l'étude de la sismicité induite montrent en outre comment le risque de celle-ci pourra être réduit à l'avenir jusqu'à un niveau acceptable. Avec l'adhésion de la Suisse à l'*International Partnership for Geothermal Technology* (IPGT), les chercheurs suisses ont de nouvelles possibilités de collaborations internationales dans le domaine des systèmes géothermiques stimulés (EGS).

Pour la géothermie de faible et moyenne profondeur, les projets soutenus permettent de préparer de la chaleur domestique avec des sondes collectrices de la chaleur terrestre ayant 300 à 1000 m de profondeur. Les quelques problèmes opérationnels surgissant avec des sondes profondes ont été analysés et résolus grâce à des exemples concrets.

### Hydrogène

Au cours de la période écoulée, les projets de recherche ont été couronnés de succès. Le rendement des oxydes utilisés pour la production solaire directe d'hydrogène par photocatalyse a pu être sensiblement amélioré. La stabilité à long terme de ces matériaux a en outre pu être augmentée.

Ayant confirmé sa position de leader en Europe, l'EPFL coordonne les travaux réalisés à ce sujet dans le cadre d'un vaste projet européen. Pour ce qui concerne le stockage de l'hydrogène dans des solides, des connaissances de base ont pu être acquises au sujet de l'absorption et de la

désorption dans des hydrures métalliques complexes, rapprochant ainsi beaucoup ces matériaux d'une utilisation pratique. Parallèlement aux thèmes de recherche fondamentaux et appliqués, des travaux se sont déroulés avec succès concernant l'électrolyse alcaline sous haute pression. En outre, divers projets ont été mis à profit pour démontrer la capacité d'utilisation de la technologie de l'hydrogène, en ce qui concerne, par exemple, le stockage à long terme d'énergie électrique produite par des sources d'énergie renouvelables. La plupart des projets ont été réalisés au plan international.

### Photovoltaïque

Dans l'ensemble, la période écoulée a été très positive du point de vue de la recherche et de l'industrie. Des études de pointe ont pu être menées dans différents domaines et des résultats record ont été obtenus, par exemple, avec le développement de cellules photovoltaïques en couche mince CIGS et au silicium. De nouveaux projets thématiques ont en outre pu démarrer, avec succès, dans le domaine des cellules solaires organiques. Les compétences dans le domaine de la certification ont pu être nettement renforcées, avec la mise sur pied d'un centre de certification des modules photovoltaïques, rattaché à l'Institut de recherche tessinois ISAAC. Gagnant en importance, le thème des interactions entre les systèmes photovoltaïques et le réseau électrique a également été abordé avec de nouveaux projets. Sous une forme ou sous une autre, la plupart des projets étaient associés à des activités internationales.

Dans le même temps, l'ensemble des activités industrielles correspondantes a beaucoup augmenté. Cette évolution s'appuie sur un développement antérieur étalé sur plusieurs années et sur ses résultats, et est aussi essentiellement issue de la dynamique observée au plan international.

### Piles à combustible

Dans le cadre d'un vaste projet national associant étroitement des partenaires industriels et académiques, de grands progrès



ont été accomplis dans le développement de piles à combustible à oxydes solides destinées à équiper des stations de cogénération stationnaires. En particulier, la durée de vie de ces systèmes a pu être augmentée en identifiant les mécanismes de vieillissement et en trouvant des solutions pour y remédier. En outre, de nouvelles membranes plus avantageuses ont été développées pour les piles à combustible à électrolyte polymère (PEFC), adaptées aux applications mobiles. Le recours à de grandes installations (telle la Source de lumière synchrotron du PSI) a permis, pour la première fois, de conduire des études fondamentales *in situ* sur des PEFC et de mieux comprendre le comportement du fonctionnement de ces systèmes. L'aptitude au service de systèmes de PEFC a pu être démontrée avec des installations pilotes, dans le cadre de différents projets, comme, par exemple, un véhicule de voirie communal propulsé par une pile à combustible, ou un système PEFC, refroidi à l'air, et intégré avec succès dans un mini-bar mobile des CFF, ou l'utilisation de piles à combustible dans des systèmes non interruptibles d'alimentation électrique.

### **Pompes à chaleur, couplage chaleur-force, froid**

La période 2008–2011 a permis de démontrer, aux plans théorique et expérimental, l'avantage de la régulation de puissance du compresseur et du ventilateur de pompes à chaleur air/eau. Suite aux études effectuées avec le R134a, un projet a maintenant aussi pu démarrer avec un turbocompresseur à CO<sub>2</sub> employé pour la préparation d'eau chaude sanitaire. Malheureusement, le principe de la pompe à chaleur magnétique ne s'est pas (encore) concrétisé, car le prototype prévu dans la phase 2 du projet n'a pas pu être construit. Après analyse de la combinaison pompe à chaleur et technique solaire thermique, plusieurs projets ont été réalisés en vue d'élever la température de la source froide et d'utiliser aussi directement l'énergie solaire.

Dans le domaine du couplage chaleur-force CCF, l'attention s'est portée sur l'utilisation de la chaleur des gaz d'échappement et des rejets de chaleur industriels, avec une nouvelle sorte de turbine à gaz inversée qui comprend une chambre de combustion à pression ambiante.

Dans le domaine du froid, les recherches ont porté sur l'utilisation des rejets de chaleur, tandis qu'un projet a été lancé, pour utiliser l'énergie d'expansion dans des installations frigorifiques fonctionnant au CO<sub>2</sub>.

### **Recherche réglementaire en sécurité nucléaire**

L'IFSN fait face à un nombre de défis croissant. Parmi ceux-ci, il faut compter en particulier la sûreté à long terme du fonctionnement des centrales en service et la procédure du plan sectoriel pour les dépôts en couches géologiques profondes. De nouveaux projets ont démarré dans ces domaines, ainsi que d'autres, à la suite d'événements extérieurs. Des exemples en sont fournis par les projets NORA (injection de métaux précieux dans le circuit primaire, pour réduire la formation de fissures), FORGE (impact des gaz formés dans un dépôt profond) et SMART, de l'OCDE, (ébranlement de bâtiments de centrales nucléaires lors de tremblement de terre). La gestion de l'accident de Fukushima laisse présager d'autres besoins de recherche.

Depuis 2008, l'IFSN a beaucoup élargi son programme de recherche pour tenir compte de l'accroissement de ses tâches. Le nombre de projets traités a passé de 17 en 2007 à 33 en 2010 et a atteint 37 en 2011. Les dépenses ont augmenté en proportion, de 4,1 MCHF en 2007 à 4,7 MCHF en 2010 ; elles ont crû à près de 6,4 MCHF en 2011.

### **Réseaux**

Divers projets ont été soutenus dans le domaine des réseaux électriques, notamment pour étudier l'influence d'injections décentralisées et fluctuantes sur le système d'alimentation. Réalisé à Rheinfelden avec l'appui de plusieurs opérateurs et un bon accompagnement scientifique, le projet

VEiN (*Verteilte Einspeisung in Niederspannungsnetze*) a permis d'identifier et d'analyser les effets les plus divers que les petites installations de production (photovoltaïque, couplage chaleur-force CCF, vent, etc.) exercent sur un réseau basse tension, puis d'esquisser des solutions.

Des projets de recherche tournés vers l'avenir, comme VoFEN (*Vision of Future Electricity Networks*), ont mis en évidence le potentiel considérable d'une exploitation commune, optimisée, d'infrastructures de réseau de différentes sortes (électricité, gaz, chaleur, etc.). La transition à partir d'infrastructures déjà existantes n'est cependant pas une affaire banale, particulièrement en Suisse, où relativement peu de réseaux sont aujourd'hui susceptibles d'être couplés.

### **Technique et sûreté nucléaires**

Le programme de recherche *Technique et sûreté nucléaires* a été développé durant la période 2008–2011 en vue du renouvellement à moyen terme de la capacité de production électrique de l'industrie nucléaire suisse.

La recherche portant sur le parc de centrales suisses s'est orientée vers les objectifs suivants : vieillissement des matériaux ; événements extrêmes, y compris la possibilité de rétention, dans des réservoirs de sécurité, des radionucléides qui pourraient s'échapper d'un réacteur endommagé ; fiabilité et comportement des opérateurs dans les salles de contrôle.

La perspective de construire en Suisse plusieurs centrales répondant aux normes de sécurité les plus sévères (génération III) s'est traduite par une étroite collaboration, tant au niveau de la physique des réacteurs que de la thermohydraulique. Des marges de sécurité réalistes ont ainsi pu être déterminées pour les réacteurs à eau légère de la génération III.

La recherche concernant les différents modèles de réacteurs de la quatrième génération s'est poursuivie au niveau international. Plusieurs combinaisons ont été étudiées, que ce soit pour le choix du fluide de

refroidissement (gaz, métal liquide), du combustible (uranium, thorium) ou des concepts de sécurité (actifs, passifs et dits

de « sûreté intrinsèque »). La contribution de la Suisse a concerné le comportement sous haute température des matériaux des réacteurs et la dynamique du cœur d'un réacteur à neutrons rapides.

Il est nécessaire d'associer la physique, la chimie et les sciences des matériaux (physique multidisciplinaire) pour appréhender la complexité d'un réacteur nucléaire. Une collaboration étroite entre la recherche appliquée et académique et la formation doit donc intervenir pour l'ensemble de ces disciplines. Un signe clair a été donné récemment à ce sujet par l'EPFZ, l'EPFL et le PSI, avec la mise sur pied d'une filière universitaire « *Master in Nuclear Engineering* » menée en commun.

### Technologie des procédés

Récent et modeste, le programme de recherche a pu continuer à prendre de l'envergure. Le développement de méthodes et d'outils a permis d'améliorer la mise en œuvre des résultats. Ceux issus de deux projets ont ainsi de grandes chances d'être commercialisés par l'intermédiaire de *spin offs* de l'EPFZ, tandis que l'outil d'intégration de procédés « PinCH », développé dans le cadre du programme de recherche de la Haute École de Lucerne (HSLU), est en phase d'application. Les bons résultats obtenus pour augmenter l'efficacité des installations de séchage sont réjouissants. D'autres thèmes traités concernent les analyses de procédés, l'utilisation des rejets de chaleur, le stockage de chaleur, ainsi qu'une étude de transparence du marché. Au vu des offres soumises pour le soutien de projets dans le domaine de la récupération de chaleur, il est apparu qu'il serait utile de disposer d'outils d'ingénierie pour réduire les coûts de dimensionnement. Des idées intéressantes ont surgi dans le domaine du bioraffinage (bioréacteurs mobiles). En ce moment, les activités s'étendent aux techniques de fabrication.

### Transports

L'invention et la mise au point par l'EPF de Zurich du moteur hybride pneumatique est le résultat le plus marquant obtenu dans le cadre du programme de recherche. Suivant l'EPFZ, qui a testé le système sur banc d'essais dynamiques, ce mode de propulsion renchérirait de 20 % au maximum le coût du moteur à combustion Otto, mais présente à l'usage un potentiel d'économie de 25 à 35 %. À la construction, les moteurs diesel et les moteurs électriques hybrides sont deux fois, respectivement trois fois plus chers que le moteur à combustion Otto.

Réalisé avec Swissauto / Wenko, le développement d'un moteur *Range Extender (REX)* sur un modèle VW Polo optimisé a permis d'en augmenter l'efficacité de façon marquante. Le véhicule est propulsé par un moteur électrique (y compris générateur et accumulateur), assisté par un moteur peu volumineux à combustion Otto à 4-temps, monocylindre, d'une puissance de 24 kW. Suivant le profil d'utilisation, la consommation d'énergie est au plus de quelque 20 à 40 kWh (soit de 2 à 4 litres d'essence) par 100 km.

Dans le domaine des structures légères, Georg Fischer SA a obtenu des résultats positifs, et surtout rapidement applicables, grâce à l'outil de « simulation bionique ». En 2010, le groupe faisait déjà 30 % de son chiffre d'affaires dans le domaine de l'industrie automobile avec des assemblages optimisés selon ce procédé.

Le projet LIGHT-TEC-I développe une méthode de fabrication pour les matériaux composites renforcés par des fibres, le procédé dit de chauffage-estampage, qui permet de produire des éléments de structure de construction légers. Fortement renforcés par des fibres, les matériaux thermoplastiques utilisés sont caractérisés par un très bon rapport résistance / poids mécanique et peuvent être façonnés de manière simple et respectueuse de l'environnement. Comme pour le projet précédent, l'objectif principal est d'abaisser la consommation de carburant en réduisant le poids.

Un allègement de 100 kg d'un véhicule baisse sa consommation d'environ 6 %.

### Utilisations de l'électricité

Des centres de recherche compétents et des partenaires industriels ont pu être sollicités dans le domaine de la thermoélectricité, pour faire avancer cette nouvelle technologie. La percée attendue au niveau des matériaux n'a malheureusement pas été confirmée pour les supraconducteurs à haute température, de sorte que les applications correspondantes n'ont pas eu de suite au plan commercial. Le thème du stockage d'air comprimé a été retenu par une *spin off* de l'EPFL, qui doit maintenant procéder à une étude de faisabilité, pour déterminer si cette technologie se prête au stockage d'énergie et, dans l'affirmative, pour quel domaine d'applications et sous quels aspects spécifiques à ce type de stockage.

Pour les appareils ménagers, des données et des connaissances de base ont pu être rassemblées sur le thème de la technique du vide appliquées à l'isolation et de l'optimisation des compresseurs frigorifiques. Les résultats des recherches effectuées ont permis aussi d'augmenter sensiblement le rendement des moteurs électriques. Un kit d'économie de courant a ainsi été développé avec l'industrie pour améliorer l'efficacité énergétique des ascenseurs en service. Diverses études concernant le gain d'efficacité dans le domaine des TIC (techniques d'informatique et de communication), a été le fruit, en premier lieu, de la coopération internationale et aussi d'activités ponctuelles intervenues au niveau national. Il est en outre réjouissant de voir que l'industrie s'est laissée convaincre de développer une pompe à chaleur conçue pour chauffer une seule pièce d'habitation, en remplacement des chauffages électriques individuels.

### Solaire industriel à haute température

Des succès importants ont pu être remportés avec l'utilisation de la chaleur solaire



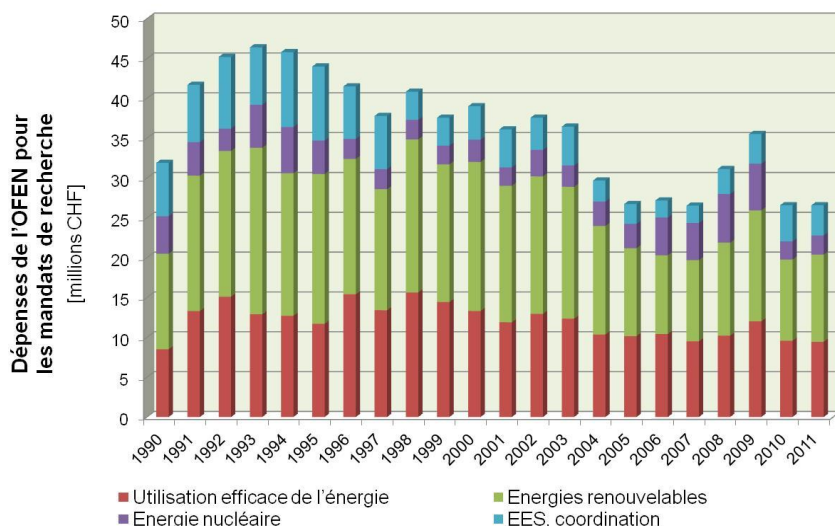


Figure 1 *Évolution en MCHF des moyens consacrés depuis 1990 par l'OFEN à la recherche énergétique; part des mandats de recherche (en francs réels corrigés du renchérissement pour 2011). EES : données de base en matière d'économie énergétique (y compris le transfert de savoir et de technologie, ainsi que la coordination de la recherche).*

concentrée pour la production d'agents énergétiques chimiques (hydrogène / gaz de synthèse), par voie thermochimique, notamment en augmentant à 100 kW la puissance du four solaire mis au point pour la production de zinc. Ce réacteur pilote a été testé avec succès à Odeillo, en France. Plusieurs projets confiés à l'Institut für Solartechnik (SPF) sis à la Haute École spécialisée de Rapperswill (HSR) ont en outre permis de consolider ses compétences dans le domaine de la production de chaleur industrielle. En parallèle, différents projets pilotes et de démonstration ont été mis en œuvre pour démontrer que l'énergie solaire concentrée peut être utilisée également en Suisse pour la production de chaleur industrielle. Dans le domaine des centrales solaires thermiques à concentration (CSP), les activités industrielles se sont poursuivies avec le développement d'un concentrateur d'un nouveau type, cylindro-parabolique, dans lequel c'est de l'air qui est utilisé comme fluide caloporteur. Ces différents projets ont été pratiquement

### Projets pilotes et de démonstration

Les projets pilotes et de démonstration (P+D) représentent un lien indispensable entre le laboratoire et le marché.

Ils servent à éprouver et à illustrer les technologies issues de la recherche à une échelle qui permette de tirer des conclusions sur leur rentabilité, sur les applications possibles et sur leur faisabilité technique.

De 2008 à 2011, l'OFEN a soutenu près de 150 projets pilotes et de démonstration pour un montant de 16,3 MCHF (Tableau 1).

Un poids particulier a alors été donné aux programmes *Biomasse et énergie du bois*, *Géothermie*, *Réseaux*, *Énergie dans les bâtiments* et *Photovoltaïque*. Les projets P+D sont réalisés en accord avec les thèmes des programmes de recherche.

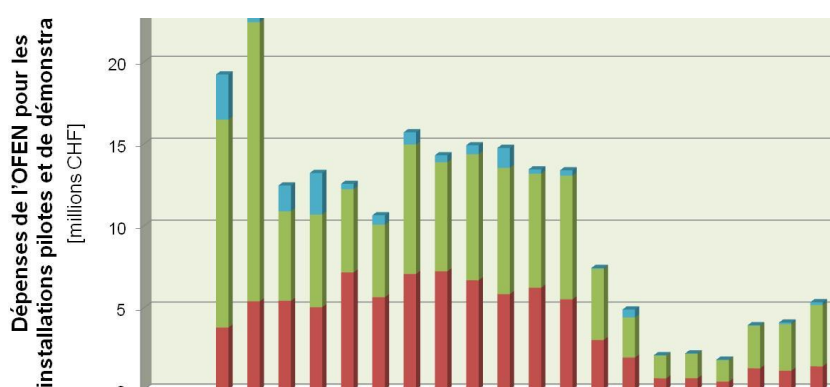


Figure 2 *Évolution en MCHF des moyens consacrés depuis 1990 par l'OFEN à la recherche énergétique dans le domaine des projets pilotes et de démonstration (en francs réels corrigés du renchérissement pour 2011). Jusqu'en 1997, les projets de la catégorie « Utilisation efficace de l'énergie » comprenaient aussi ceux touchant les agents énergétiques fossiles.*

## Autres activités

### Liste des projets

Au printemps 2011, comme tous les deux ans, l'OFEN a publié la *Liste des projets de la recherche énergétique de la Confédération*<sup>iv</sup> qui se rapporte à la période 2008/2009. Les enquêtes effectuées montrent que les dépenses publiques consacrées à la recherche énergétique ont augmenté régulièrement, passant de 156 MCHF en 2005 à 213 MCHF en 2009.

## Remaniement du Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération

Le remaniement du *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2013–2016* a beaucoup sollicité l'OFEN en 2010/2011 : le *Plan directeur* a été complètement revu et réorganisé pour ne plus tenir compte que de quatre thématiques prioritaires.

L'élaboration des objectifs correspondants a impliqué dès le départ les principaux acteurs de la recherche énergétique suisse, tandis que les lignes directrices ont été précisées lors de divers ateliers tenus avec les représentants de la science et de l'économie.

## Fukushima 2011

L'accident de la centrale nucléaire japonaise de Fukushima a été à l'origine d'une augmentation significative des interventions parlementaires durant le deuxième semestre de 2011. En outre, le Conseil fédéral a mis sur pied un Groupe de travail interdépartemental Énergie (IDA Énergie), pour examiner l'apport de la recherche énergétique à la sécurité d'approvisionnement de la Suisse et pour évaluer l'importance des moyens financiers supplémentaires éventuellement nécessaires. La section Recherche énergétique de l'OFEN a été étroitement associée à ces travaux.

## 2.5 Financement

L'OFEN contribue pour environ 10 % aux dépenses publiques consacrées à la recherche énergétique. Outre le soutien apporté à ses propres projets de recherche et projets pilotes et de démonstration, l'OFEN finance aussi la mise en réseau de la communauté suisse des chercheurs avec les programmes de recherche de l'UE et de l'AIE.

### Développement du domaine d'action

La Figure 1 illustre l'évolution des moyens financiers consacrés par l'OFEN aux pro-

jets de recherche (mandats), entre 1990 et 2011. De la même manière, l'évolution concernant les projets pilotes et de démonstration est donnée dans la Figure 2.

Pour ce qui concerne les projets pilotes et de démonstration, les dépenses des collectivités publiques ont presque doublé entre 2008 (6,8 MCHF) et 2009 (11,7 MCHF). Elles restent cependant inférieures aux montants annuels investis entre 2000 et 2003, qui variaient entre 26,6 et 29,8 MCHF (Figure 3).

La Figure 4 représente enfin l'évolution des dépenses globales consenties par toutes

les collectivités publiques pour la recherche énergétique (projets de recherche, projets pilotes et de démonstration). Une augmentation continue est à nouveau sensible depuis 2006. Le montant minimal recommandé en 2005 par la CORE pour l'année 2011, soit 200 MCHF, est légèrement dépassé en 2009 déjà.

Suite aux événements de mars 2011 au Japon (Fukushima), le Groupe de travail interdépartemental Énergie, mis sur pied par le Conseil fédéral, a proposé de doubler les dépenses des pouvoirs publics.

	2008	2009	2010	2011
Montants attribués à l'ISFN <sup>1</sup>	0	2 100 000	2 100 000	2 131 500
Projets pilotes et de démonstration	2 800 000	3 800 000	4 900 000	4 777 500
Projets de recherche <sup>2</sup>	21 061 000	24 203 900	21 103 900	19 135 300
Total	23 861 000	30 103 900	28 103 900	26 044 300

Tableau 1 Financement de la recherche énergétique soutenue par l'OFEN pour les années 2008 à 2011 (en CHF)

<sup>1</sup>Pour des raisons comptables, les montants attribués à l'ISFN transitent par l'OFEN qui les transmet directement à l'ISFN. L'ISFN dispose d'autres fonds pour la recherche (2010 environ 2,9 millions CHF, 2011 environ 4,3 millions CHF, qui ne figurent pas dans les dépenses de l'OFEN).

<sup>2</sup>Y compris les charges correspondant à la coordination et au défraiement des chefs externes de programmes, ainsi qu'aux contributions aux organisations internationales (principalement l'AIE).

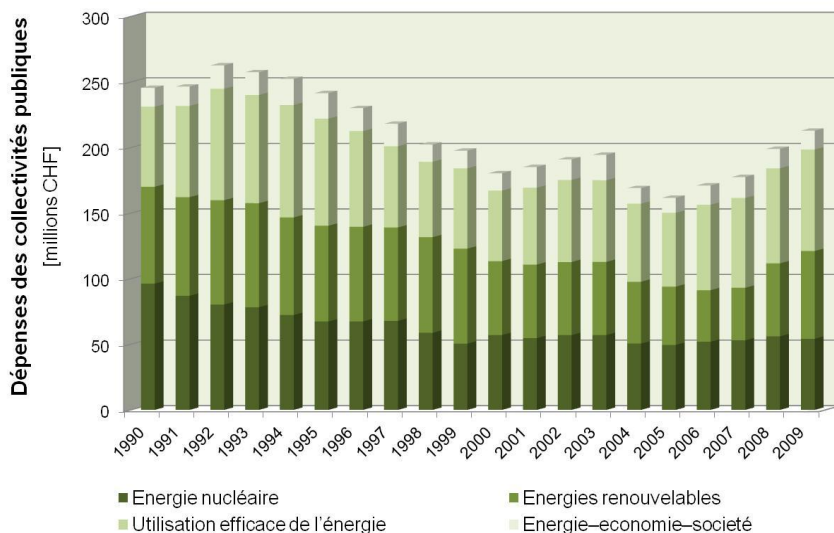


Figure 3 Moyens publics en MCHF utilisés pour des projets pilotes et de démonstration dans le secteur de l'énergie (en francs réels corrigés du renchérissement pour 2009). L'OFEN procède tous les deux ans à une enquête détaillée auprès des responsables de projets. La dernière en date portant sur les chiffres 2008/2009, il n'est pas possible de disposer de valeurs plus récentes.

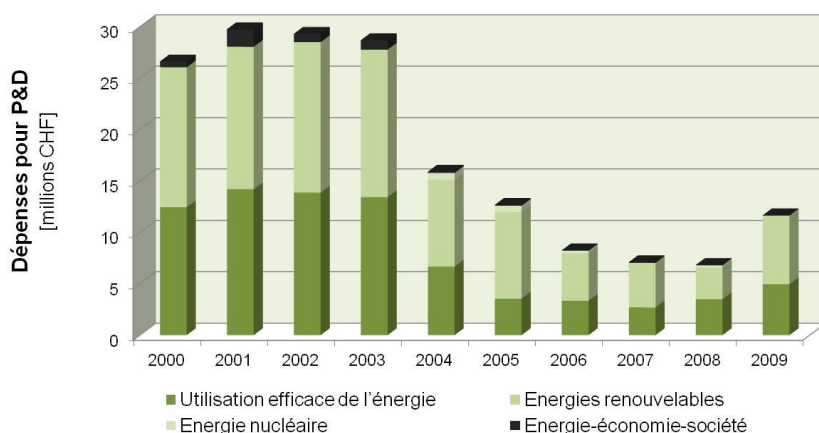


Figure 4 Dépenses en MCHF pour la recherche énergétique depuis 1990 (en francs réels corrigés du renchérissement pour 2009). L'OFEN procède tous les deux ans à une enquête détaillée auprès des responsables de projets. La dernière en date portant sur les chiffres 2008/2009, il n'est pas possible de disposer de valeurs plus récentes.

Comme première démarche, le Conseil fédéral a donné son aval à une série de programmes nationaux de recherche dotés d'un budget de 45 MCHF sur 5 ans. En outre, il a augmenté les moyens de l'OFEN destinés aux projets pilotes et de démonstration en relevant le plafond (alloué à la recherche sectorielle) de 5 MCHF à partir de 2013.

### Moyens de financement direct (2008–2011)

Le Tableau 1 présente le financement pour les années 2008 à 2011. En exécution de la motion Theiler, (06.3835), le Conseil fédéral a augmenté de 4 MCHF le budget 2009 de la recherche énergétique de l'OFEN, dont 1 MCHF pour des projets pilotes et de démonstration et 3 MCHF pour des projets de recherche dans le domaine *Énergie renouvelable*. À partir de 2010, l'OFEN dispose d'un crédit annuel supplémentaire de 2,1 MCHF, destiné aux projets pilotes et de démonstration.

Avec une moyenne de près de 9,3 MCHF par an pour la période 2008–2011 (chiffres du budget pour 2011), les projets relevant du domaine *Utilisation efficace de l'énergie* ont été les mieux soutenus, suivis par les projets dans le domaine *Énergie renouvelable*, avec environ 8,2 MCHF. Pour ce qui concerne le domaine *Énergie nucléaire*, l'OFEN ne soutient qu'un projet, à l'Université de Bâle, lié à la recherche sur les plasmas (environ 0,2 MCHF) et de petits projets intégrés au programme de recherche *Déchets radioactifs* (0,08 MCHF). Finalement, l'OFEN transfère depuis 2009 environ 2,1 MCHF à l'IFSN<sup>vi</sup>.

Un montant moyen de 3,6 MCHF est utilisé pour les tâches transversales, par exemple, pour la recherche socio-économique EES, pour le transfert de savoir et de technologie, ainsi que pour la coordination de la recherche énergétique et pour la recherche sur la sécurité des barrages.

## Participation aux programmes de recherche internationaux

La participation aux programmes de recherche de l'AIE et de l'UE correspond à une dépense totale de 0,8 MCHF, dont la plus grande partie, soit 0,7 MCHF, se rap-

porte à la participation aux *Implementing Agreements* de l'AIE (chapitre 6.5.1). Pour l'UE, les coûts se rapportent en premier lieu aux *European Energy Research Area Networks* (ERA-NETs, chapitre 6.5.4). D'autres contributions, pour un montant global d'environ 50 kCHF, concernent la

coopération D-A-CH (Allemagne, Autriche, Suisse), sur le thème des réseaux électriques intelligents (« *Smart Grids* », chapitre 6.5.6), et l'*International Partnership for Geothermal Technology* (chapitre 6.5.7).

## 2.6 Défis et moyens nécessaires

Le défi le plus important auquel la recherche énergétique doit faire face est la mise à disposition en temps voulu des technologies et des méthodes appropriées permettant de réduire dans les délais impartis – partiellement différents – la consommation d'énergie en Suisse, mais aussi en Europe (UE) et dans le monde entier (AIE). Les objectifs poursuivis sont décrits dans diverses publications, notamment dans les *Energy Technology Perspectives 2010 – Scenarios & Strategies to 2050* de l'AIE et dans les feuilles de route adoptées pour différentes technologies (AIE, UE).

Les principaux défis à relever en Suisse en matière de recherche énergétique sont résumés dans le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*. Les technologies et méthodes à développer doivent s'orienter vers les objectifs suivants :

- Réduction de la production de CO<sub>2</sub> d'un facteur 6, soit à un maximum de 1 tonne par personne et par an d'ici 2100 ;
- Réduction des besoins en énergie d'un facteur 2,5 d'ici 2100 ;
- Réduction des émissions polluantes (oxydes d'azote, poussières fines, gaz favorisant l'effet de serre, etc.) ;
- Réduction massive des flux de matière liés à la production d'énergie.

Cela implique, à moyenne échéance, de renoncer aux combustibles fossiles pour le chauffage des bâtiments, neufs ou anciens, et de diviser par deux la consommation d'énergie correspondante.

Dans le domaine de la fourniture d'énergie, l'utilisation de la biomasse doit doubler, tandis que la consommation de carburants fossiles liée au trafic doit être réduite de 7,6 litres pour 100 km à moins de 3 litres pour les voitures de tourisme.

De plus, il faut tenir compte du fait que, dans l'ensemble, les prestations de service dans le domaine de l'énergie, les distances parcourues, la surface habitable par personne, la population et la production de biens pourront augmenter fortement d'ici 2050.

Le chapitre 3 présente les objectifs des programmes de recherche de l'OFEN, en fonction des besoins.

### Action réglementaire requise

Suite aux événements du 11 mars 2011 au Japon (Fukushima), le Conseil fédéral a institué le Groupe IDA Énergie, qui doit, entre autres, examiner la contribution de la recherche énergétique à la sécurité d'approvisionnement en énergie de la Suisse et, le cas échéant, voir quels moyens financiers supplémentaires doivent être mis à disposition.

Dans le cadre de ce mandat, le Groupe a défini cinq domaines de recherche à renforcer en priorité : efficacité énergétique, réseaux, technologies de stockage, production d'électricité au moyen d'énergie renouvelable et aspects socio-économiques et juridiques. Il évalue les moyens financiers supplémentaires nécessaires à environ 200 MCHF (2013–2016).

Le Groupe attache une grande importance aux projets pilotes et de démonstration. Les moyens supplémentaires accordés à l'OFEN par le Conseil fédéral impliquent une réorientation de l'OFEN à partir de 2013 et nécessiteront une restructuration du programme Projets pilotes et de démonstration. Comme un doublement des moyens financiers est prévu dès 2013, de premières mesures ont déjà été prises au niveau de la conception et de l'organisation au cours de l'été 2012 pour pouvoir affecter les moyens supplémentaires de manière ciblée et efficace.

Avec la décision du Conseil fédéral de lancer une série de programmes nationaux de recherche (PNR) consacrés à l'énergie pour le cycle de sélection 2011/12, une enveloppe annuelle de près de 10 MCHF sera allouée à partir de 2014 aux projets de recherche, ce qui aura une grande influence sur la disponibilité du personnel scientifique. Le rôle joué par l'OFEN dans la coordination de la recherche énergétique suisse gagnera ainsi en importance.

### 3 Centres de gravité de recherche pour la période 2013–2016

Lors de la fixation de ses centres de gravité de recherche l'OFEN se base sur les spécifications de la CORE. À ce jour l'OFEN soutient la recherche énergétique

grâce à ses 25 programmes de recherche qui couvrent l'ensemble du domaine énergétique. Ci-dessous se trouvent des informations générales et des détails

concernant les centres de gravité et les buts de recherche pour l'ensemble des programmes de recherche.

#### 3.1 Utilisation efficace de l'énergie

##### 3.1.1 Accumulateurs et Supercondensateurs

L'accumulateur est un moyen, quoiqu'encore peu utilisé, de conservation de l'énergie renouvelable issue de production stochastique – par exemple l'énergie éolienne ou solaire. Parmi ses inconvénients, il faut mentionner une énergie spécifique (densité énergétique) encore modeste, le nombre

limité des cycles de recharge ainsi que la toxicité et la rareté de certains de ses composants.

*Accumulateurs* étudie et teste des approches inédites en vue de produire des modèles électrochimiques ou des ultracon-

densateurs (stockage électrostatique) nouveaux ou améliorés. Dans le même temps, on approfondit la connaissance des phénomènes liés au stockage d'énergie, et des documents sont établis sur le sujet.

Les travaux se poursuivent sur deux axes surtout:

- Recherche en électrochimie sur les cellules individuelles des accumulateurs ;
- Amélioration de l'action conjuguée de plusieurs accumulateurs au moyen de systèmes de gestion intelligents.

A l'horizon, la synthèse des résultats obtenus de part et d'autre pour de futurs produits ayant de bonnes chances sur le marché.

	«Zèbre»	Technologie Li	Ultracondensateurs
Energie spécifique [Wh/kg]			
Etat 2011	120	120	15
Potentiel	650	790	60
Rendement [%]	90	90	98
Energie spécifique [W/kg]	200	400	1000
Cycles de charge [-]	1000	1000	100'000
Fréquence métal le plus rare [ppm]	Ni: 84	Li: 17 Co: 25	–

Tableau 2 Caractéristiques de quelques technologies d'accumulateurs

	2011	2016	2050
Energie spécifique [Wh/kg]	150	300	600
Rendement [%]	90	95	98
Energie spécifique [W/kg]	200	400	1000
Cycles de charge [-]	1000	2000	5000
Durée de vie [années]	7	10	20
Coût [CHF/kWh]	800	400	300

Tableau 3 Quelques-uns des objectifs du programme Accumulateurs

##### Etat de la recherche

Depuis quelques années, la recherche dans le monde se concentre sur les possibilités offertes par différentes technologies utilisant le lithium, soit le métal le plus léger dans le système périodique. Or ce métal relativement rare ne se trouve qu'en très faible densité dans la croûte terrestre. De son côté, la batterie haute température de type «Zèbre», conçue en Suisse, utilise le sodium et le nickel, assez abondants.

Le Tableau 2 présente de façon sommaire les caractéristiques respectives des deux technologies de l'accumulateur et de l'ultracondensateur.



## Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

L'industrie suisse de l'accumulateur, relativement peu dotée en centres de recherche, dispose en revanche de bonnes capacités de développement.

Or les technologies de l'accumulateur sont destinées à jouer un rôle tout-à-fait éminent en rapport avec les agents renouvelables et la production décentralisée d'énergie. Il y a tout lieu d'admettre que le progrès dans ce domaine ira de pair avec le recours croissant à la nanotechnologie, une des forces de l'industrie suisse. L'aide publique améliorera donc les chances de cette industrie et profitera à l'enseignement dans le pays.

## Accents de la recherche et thèmes prioritaires

Les accumulateurs modernes sont encore loin de réaliser leur potentiel théorique. Si les pouvoirs publics d'autres nations industrielles soutiennent la recherche dans ce domaine, les moyens financiers du programme suisse sont très limités, d'où la nécessité de leur application ciblée. L'aide se borne au développement de la batterie

«Zèbre», un produit de niche mais qui aura le mérite de n'être pas au centre des efforts de recherche de la plupart des pays – à la différence de la batterie au lithium. Il existe du reste une usine de production en Suisse.

## Thèmes de recherche 2013 – 2016

### Cellules

- Gains de qualité et de fiabilité dans le domaine électrochimique grâce à une meilleure compréhension des processus de transport ;
- Réduction de température de l'accumulateur par le recours à des électrolytes organiques.

### Accumulateurs et applications

- Accumulateur à la structure simplifiée, d'où moindres coûts ;
- Durée de vie de l'accumulateur accrue grâce à des systèmes de gestion intelligents ;
- Utilisation de l'accumulateur dans la production décentralisée d'énergie ;

- Utilisation de l'accumulateur dans les réseaux intelligents (Smart Grids) et dans les véhicules électriques.

### Objectifs techniques et économiques

L'intention est d'accroître, d'ici 2016, l'énergie spécifique de l'accumulateur à 175 Wh/kg et de réduire les coûts de stockage à 450 \$/kWh. En outre, le futur accumulateur devra comporter peu de substances nocives, tout en étant recyclable et très fiable

Le Tableau 2 présente les objectifs de la recherche pour 2013–2016.

### Mise à profit des résultats

Les rapports de collaboration avec l'industrie sont étroits et suivis, les partenaires étant associés aux projets de recherche dès un stade précoce. C'est indispensable pour permettre ensuite le passage à des produits commercialisables. Quant aux enseignements recueillis, ils sont diffusés dans tout le pays grâce aux relations régulières entretenues avec le programme *SuisseEnergie*. Et les contacts avec les recherches menées au plan international se traduisent par une collaboration active partout où c'est possible et indiqué.

## 3.1.2 Piles à combustible

La technologie de la pile à combustible se trouve en phase d'industrialisation consolidée et de mise sur le marché. Aussi bien dans le domaine stationnaire que dans la mobilité, la pile à combustible est destinée à fournir un apport substantiel à la réduction des besoins d'énergie et à la décarbonisation dans les transports. En Suisse, la recherche d'énergie se poursuit depuis des décennies avec le développement de la pile à combustible. Le pays dispose de compétences de niveau mondial dans la recherche et dans le développement, aussi bien dans les Ecoles polytechniques fédérales, dans les Universités et dans les Hautes Ecoles spécialisées que dans de petites et moyennes entreprises. Les activités

de recherche qui s'y poursuivent sont largement intégrées dans des projets internationaux. Le programme de recherche *Pile à combustible* tente de coordonner les efforts nationaux et internationaux et d'encourager la collaboration entre les Universités, les Hautes Ecoles et l'industrie. Cela exige des moyens accrus à l'avenir, notamment pour des projets pilotes et de démonstration, afin de consolider l'industrialisation de cette technologie en Suisse. Ledit programme met l'accent sur la recherche fondamentale touchant les matériaux, sur le développement des systèmes ainsi que sur la démonstration et les tests dans des projets pilotes. Il porte avant tout sur la pile à combustible à électrolyte polymère (PEFC)

en vue d'applications mobiles et sur la pile à oxyde solide (SOFC) mise en œuvre dans des installations à couplage chaleur-force (installations CCF) stationnaires.

### Etat de la recherche

Les institutions suisses de recherche occupent une position de pointe dans différents secteurs. L'institut Paul-Scherrer accomplit des travaux fondamentaux importants, par exemple en étudiant des piles PEFC en conditions réelles avec recours à de gros équipements tels que la source de rayonnement cyclotron, afin de mieux comprendre le mode de dégradation des piles.



	2011	2025	2050
<b>Objectifs techniques</b>			
Durée de vie [h]			
PEFC	2000	>5000	>7000
SOFC ( $\mu$ CHP), mobiles	20 000	>40 000	>60 000
Rendement $\eta$ [%]			
FCV	50	>60	>60
$\eta_{\text{électrique}}$ SOFC ( $\mu$ CHP)	30–50	40–60	50–60
<b>Objectifs économiques [€/kW]</b>			
Coûts du système SOFC ( $\mu$ CHP)	>10 000	3000	1000
Coûts du bloc PEFC	500	30	20

Tableau 4 Quelques-uns des objectifs du programme Piles à combustible

Des essais prometteurs se poursuivent sur des piles hydrogène-oxygène, dans la perspective d'une mise en oeuvre industrielle.

Pour la pile à oxyde solide (SOFC), l'accent est mis sur une durée de vie accrue en vue de l'application dans les installations à CCF. L'EPFL et l'EMPA, très actives dans ce domaine, collaborent étroitement avec des entreprises suisses. De son côté, l'Haute Ecole de Bienne s'est spécialisée dans l'intégration des systèmes de piles PEFC pour les applications les plus diverses, là aussi en collaboration suivie avec des partenaires industriels.

### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

D'une part, la recherche doit explorer les processus de la dégradation de la pile à combustible et trouver les moyens d'y remédier, ce qui n'ira pas sans une collaboration étroite avec les centres de compétence des Hautes Ecoles et des Universités; d'autre part, il importe de poursuivre l'industrialisation de cette technologie afin d'en réduire les coûts. Cela implique en particulier la recherche de nouveaux matériaux, moins onéreux.

De façon générale, ces travaux requièrent une somme de connaissances scientifiques et techniques, qui ne peut survenir que dans des centres de compétences disposant des infrastructures appropriées (la-

boratoires, appareils). D'où la nécessité d'une aide publique continue.

### Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération

La technologie de la pile à combustible relève de différents points-clés du *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*. La solution PEFC joue un rôle important dans la décarbonisation des transports, d'où la place décisive qu'elle occupe dans le point-clé « Mobilité ». Quant aux systèmes de pile pour applications stationnaires, capables de fournir du courant et de la chaleur dans de petits équipements, ils se retrouvent dans le point-clé « Systèmes énergétiques », par exemple au titre de la stabilisation des réseaux ou de la conservation d'électricité de source renouvelable. Parfois de tels systèmes, appliqués au CCF, intéressent aussi le point-clé « Habitat et travail ».

### Thèmes de recherche 2013 – 2016

Les travaux doivent porter avant tout sur l'accroissement de la durée de vie de la pile à combustible, sur la réduction des coûts en général (production industrielle, moindres besoins de matériaux et d'énergie) ainsi que sur l'intégration de la pile à combustible dès le stade du projet général.

### Objectifs spécifiques

- Accroître la durée de vie et la fiabilité de la pile à combustible à électrolyte polymère: Etude et compréhension, par des travaux expérimentaux et des modèles théoriques ;
- Réduire les coûts et allonger la durée de vie de la pile à combustible à oxyde solide ;
- Développer de nouveaux matériaux, peu onéreux et sûrs (membrane, interconnecteurs métalliques, etc.) ;
- Intégrer la pile à combustible dans des systèmes (p.ex. des véhicules) et lui trouver des applications de niche pouvant conquérir un marché ;
- Mettre au point la production industrielle ;
- Etudier le recours combiné à des systèmes de piles à combustible et à l'énergie renouvelable (questions de réseau, p.ex.).

Les objectifs fixés, que ce soit pour la technologie de la pile à combustible ou pour celle de l'hydrogène, découlent de conventions internationales telles que l'initiative européenne Mobility H<sub>2</sub>, les *Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertakings*, la feuille de route de l'agence japonaise de l'énergie NEDO ou celle de l'agence internationale de l'énergie AIE (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

### Mise à profit des résultats

La plupart des projets de recherche sur la pile à combustible sont menés en collaboration avec l'industrie, qui connaît un fort développement dans ce domaine. Le transfert ciblé des résultats vers le développement permettra d'accélérer encore le processus. La recherche suisse s'inscrivant dans les efforts déployés au plan international, les progrès accomplis et les enseignements recueillis partout profitent à l'avancement général dans ce domaine. Mais les applications commerciales dans le pays requièrent des mesures d'encouragement.

### 3.1.3 Technologies et utilisations de l'électricité

La technologie crée des bases innovatrices pour la production et la distribution du courant, ou bien elle génère les connaissances et les techniques nécessaires pour optimiser l'apport croissant des agents renouvelables. Au premier rang des recherches figurent la supraconductivité à haute température (HTSL) pour le transport de courant sans déperditions, le stockage d'énergie sous forme d'air comprimé et les nouvelles méthodes de conversion de l'énergie; par exemple la thermoélectricité, qui transforme directement la chaleur en électricité, d'où la possibilité de tirer parti des rejets de chaleur basse température liés à nombre de processus.

Dans la pratique, l'accent est mis sur l'efficacité du courant utilisé. Les moteurs constituent la catégorie la plus importante, et leur optimisation est à l'étude, conjointement avec l'industrie, dans diverses applications. L'électroménager, de son côté, représente une part non négligeable des besoins, et la recherche du meilleur rendement se poursuit activement là aussi. L'isolation par le vide apparaît comme étant une solution prometteuse dans ce secteur. Le développement très rapide des techniques d'information et de communication justifie les nombreux travaux de base consacrés aux centres de calcul, aux questions de Smart Metering / Smart Home ainsi qu'à l'efficacité des appareils TIC. Enfin la poursuite des activités internationales fournit aussi des impulsions dans ce sens (cf.

l'IEA Implementing Agreement *Energy Efficient End Use Equipment (4E)*.

#### Etat de la recherche

Au plan technologique, les travaux déjà accomplis sur la récupération de chaleur par thermoélectricité mènent directement aux premiers essais in situ, à entreprendre dans les années à venir. Quant aux travaux en cours sur le stockage isotherme d'air comprimé, ils permettront de concrétiser les prochaines démarches. Par contre, l'application de la supraconduction à haute température (HTSL) n'apparaît que lentement sur le marché, du fait des prix élevés des matériaux supraconducteurs.

Sur le plan pratique, plusieurs projets de recherche ont démontré les gains d'efficacité substantiels possibles, dans l'électroménager, grâce à de nouvelles techniques telles que l'isolation par le vide. Ainsi le potentiel d'économies reste très important dans ce domaine et il convient de le réaliser. Au chapitre des moteurs, on devra concrétiser de nouvelles applications. En outre, les travaux pour 4E ont révélé des faits intéressants au sujet du mode veille des appareils électriques reliés à un réseau IT.

#### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

Sur plusieurs points importants, il apparaît que le potentiel d'innovation de l'industrie n'est pas épuisé. La thermoélectricité souffre encore de trop d'incertitudes, et malgré l'important potentiel latent dans la récupération de chaleur, des investissements ne sont consentis qu'avec le soutien de l'OFEN.

Le marché des appareils électroménagers ne vise qu'avec beaucoup de réticences un niveau d'efficacité supérieur à A+++ du fait des investissements importants que cela implique, et faute de prescriptions régulatrices. Voilà pourquoi le programme de recherche peut introduire les nouvelles technologies dans un éventail de secteurs en soutenant financièrement le recours à des solutions innovatrices et le choix de l'efficacité.

Dans le même temps, on crée ainsi les bases techniques nécessaires pour une future réglementation commerciale appropriée et efficace.

#### Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération

Ce programme de recherches fournit des contributions à chacun des quatre points clés du plan directeur de la Confédération, car les technologies et applications de l'électricité sont déterminantes dans tous les domaines étudiés.

	2016	2025	2050
Rendement génératrice thermoélectrique [%]	4,5	6	10
Rendement stockage air comprimé [%]	30	60	70
Economies de courant dans les chemins de fer [% par rapport à 2010]	5	10	30
Efficacité appareils électroménagers par rapport à des modèles A+++ [%]	-20	-40	-60

Tableau 5 Quelques-uns des objectifs du programme Technologies et utilisations de l'électricité

#### Thèmes de recherche 2013 – 2016

La récupération de chaleur est considérée comme très importante. Différents travaux se complétant les uns les autres porteront sur les matériaux requis et les questions pratiques dans l'utilisation de la thermoélectricité. En outre le prototype déjà réalisé d'un réservoir d'air comprimé devrait permettre d'en évaluer la faisabilité.

A l'échelon de l'application, on poursuivra l'étude des technologies à mettre en oeuvre dans les appareils électroménagers de haute efficacité, par exemple la nouvelle isolation par le vide. Tout le contexte des moteurs électriques représente aussi un point fort à approfondir. Et pour ce qui concerne les techniques de communication et d'information, il faudra en étudier des aspects spécifiques tels que l'efficacité dans les centres de calcul, la domotique ou le Smart Metering en rapport avec les Smart Grids.

Dans le domaine de l'éclairage, on soutiendra ponctuellement la recherche concernant les techniques LED.

### Objectifs spécifiques

#### Technologies

- Nouveaux matériaux thermoélectriques efficaces ;
- Génératrices thermoélectriques pour différentes applications ;
- Stockage isotherme d'air comprimé ;
- Les nouvelles technologies de stockage (p.ex. thermoélectrique) ;
- Les applications HTSL (p.ex le transformateur de distribution, le limiteur de

courant, le moteur à haute performance).

#### Applications

- Des appareils très efficaces grâce à des technologies novatrices ;
- Moteur IE4 à haut rendement / moteur à aimant permanent intégré ;
- Gain technique / opérationnel de rendement électrique dans le domaine ferroviaire ;
- Stratégies de rendement pour centres de calcul / domotique / Smart Meter ;
- Amélioration de rendement des appareils TIC.

En 2011, une première génératrice thermoélectrique a atteint un rendement 2,4 %. Ce résultat est à améliorer de façon substantielle, comme l'indique le Tableau 5. Si le stockage isotherme d'air comprimé devait se révéler possible, il faudrait en accroître le rendement. On ne peut définir des objectifs économiques qu'en fonction de la faisabilité, mais toujours au regard des prix spécifiques de stockage comparables.

Le transport ferroviaire est le plus gros consommateur individuel d'électricité. Diverses mesures devront être prises pour

en accroître le rendement. Quant aux appareils électroménagers, ils représentent environ 14 % de la consommation de courant. L'amélioration de rendement indiquée dans le Tableau 5 doit réduire sensiblement ce chiffre.

#### Mise à profit des résultats

Les rapports de collaboration avec l'industrie sont étroits et suivis, les partenaires étant associés aux projets de recherche dès un stade précoce. C'est indispensable pour permettre ensuite le passage à des produits commercialisables. Quant aux enseignements recueillis, ils sont diffusés dans tout le pays grâce aux relations régulières entretenues avec le programme *SuisseEnergie*. Enfin il se crée les bases nécessaires pour permettre l'application, au plan national et international, de dispositions réglementaires efficaces et conformes aux règles du marché. Toute aussi importante est la mise en réseau internationale de tous les travaux menés à cet effet, qui repose sur la collaboration active instaurée toutes les fois où c'est possible et indiqué.

### 3.1.4 Énergie dans les bâtiments

Le programme de recherches *Energie dans les bâtiments* vise à faire en sorte qu'avec le temps, le parc des bâtiments soit peu gourmand d'énergie et à peu près franc de rejets. La préoccupation actuelle est d'étudier les technologies et les concepts régissant les besoins, la conversion et l'utilisation de l'énergie ainsi que sa production sur place: dans les bâtiments, dans leurs environs, dans le quartier, dans la cité.

#### Etat de la recherche

Les recherches sur l'énergie dans le bâtiment relèvent généralement des Hautes Ecoles spécialisées, même si certaines

questions spécifiques sont réservées aux Ecoles Polytechniques fédérales de Lausanne et de Zurich et à l'EMPA. L'industrie participe à la plupart des projets et y contribue par des apports substantiels. Par ailleurs, nombre de travaux s'inscrivent dans des projets internationaux.

#### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

L'engagement des pouvoirs publics a permis de fixer des priorités touchant l'énergie dans le bâtiment et de créer des centres de compétences dans le domaine des EPF et dans les ETS. De plus, l'aide à la recherche sert également à la formation de pro-

fessionnels. Les résultats obtenus dans le transfert de technologies montrent le succès de cette intervention politique, en collaboration étroite avec l'industrie.

#### Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération

Dans le nouveau point clé « Habitat et travail » du *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*, ce programme occupe une position centrale.

Il s'agit de réduire fortement la consommation d'énergie dans les bâtiments existants et d'en éliminer les rejets de CO<sub>2</sub>. Quant

	2011	2025	2050
<b>Habitat</b>			
Energie primaire non renouvelable [MJ/m <sup>2</sup> ]	440	330	220
Rejets gaz à effet de serre bâtiment neuf [kg/m <sup>2</sup> ]	16,5	12,5	8,5
Rejets gaz à effet de serre bâtiment transformé [kg/m <sup>2</sup> ]	15,5	11,5	7,5
<b>Bureau</b>			
Energie primaire non renouvelable [MJ/m <sup>2</sup> ]	660	495	330
Rejets gaz à effet de serre bâtiment neuf [kg/m <sup>2</sup> ]	25,5	19,5	13,0
Rejets gaz à effet de serre bâtiment transformé [kg/m <sup>2</sup> ]	24,5	18,5	12,0

Tableau 6 Quelques-uns des objectifs du programme Énergie dans les bâtiments

aux bâtiments neufs, ils ne devraient engendrer aucun rejet nocif pour l'environnement. Les rejets produits aujourd'hui par la construction et l'élimination devraient diminuer d'un ordre de grandeur. Les bâtiments eux-mêmes devraient prendre une place importante dans le cycle de l'énergie, en produisant approximativement les quantités de chaleur et d'électricité nécessaires dans l'habitat et dans le travail.

### Thèmes de recherche 2013 – 2016

La tendance est au passage de la recherche isolée à la vue d'ensemble. Dans cet esprit, on considérera les technologies du bâtiment, puis on élargira l'horizon aux alentours immédiats, au quartier, voire à la cité.

#### Objectifs spécifiques

- La rénovation est prioritaire sur la construction : le défi du futur réside dans la

rénovation des édifices existants. De nouveaux outils de calcul et de planification et de nouvelles technologies doivent être développées ;

- Optimisation de l'utilisation de la technologie: des mesures en technique du bâtiment et des précautions techniques quant à l'enveloppe du bâtiment peuvent contribuer à réduire le besoin en énergie des bâtiments. Des solutions innovantes sont recherchées ;
- Du bâtiment au terrain: la limite du système doit être étendue au-delà du bâtiment jusqu'à la prise en compte des surfaces aux alentours, des lotissements ou de villes entières. Seront explorées de nouvelles fonctionnalités, le bâtiment et les terrains étant perçus dans des infrastructures de plus en plus en réseau ;
- Maison comme source et stock d'énergie: chaque bâtiment a le potentiel d'une centrale en utilisant l'énergie du sol, des environs ou du toit. Ici on recherchera des des systèmes de pro-

duction et de distribution d'énergie économiquement optimisés et adaptés aux besoins des utilisateurs ;

- Besoin énergétique indirect: l'énergie grise et la mobilité de même que le comportement ont une influence sur l'empreinte énergétique des bâtiments. Ce sont des concepts, des technologies et des matériaux nouveaux qui doivent être développés.

Comme le recommande la SIA, il convient de travailler systématiquement à ce que le parc immobilier du pays devienne durable, en visant l'utilisation intelligente des ressources énergétiques. La voie SIA vers l'efficacité énergétique comporte des objectifs chiffrés de consommation d'énergie primaire et de rejets de gaz à effet de serre en 2050.

Or les efforts déployés au titre des programmes de recherche devront aller beaucoup plus loin. Ils s'appuieront sur les objectifs majeurs de la politique de l'énergie. En conséquence, les recherches devraient viser des valeurs-cibles de moitié inférieures à celles de la SIA (Tableau 6).

#### Mise à profit des résultats

L'industrie étant systématiquement associée aux travaux, les enseignements recueillis sont utilisés dans les produits.

De plus, les recherches ont mené à la création de plusieurs entreprises et à l'adoption de programmes informatiques développés au cours des travaux: Spin-off EPFZ KEOTO AG, EcoLogic AG, QC-Expert AG.



### 3.1.5 Centrales à gaz 2020 & CCS

Etant donné la demande croissante d'électricité, les contrats d'importation qui viennent à échéance et l'arrêt des centrales nucléaires, l'approvisionnement de la Suisse en électricité devrait devenir difficile dans les années 2020. Une solution envisageable est la construction de centrales à cycles combinés alimentées au gaz; à moyen terme, de tels équipements auront leur place dans l'approvisionnement du pays, du fait de leur rendement relativement élevé (pour des centrales thermiques) et de leurs faibles rejets nocifs.

Sachant que la Suisse veut atteindre ses objectifs climatiques, le recours au gaz pour la production d'électricité exigera des mesures connexes, de nature à réduire les rejets de CO<sub>2</sub> dans l'ensemble du système énergétique. Ainsi l'exploitation de la centrale devra permettre l'utilisation de combustibles de substitution produisant peu ou pas de CO<sub>2</sub>.

#### Etat de la recherche

**Efficacité de la centrale:** après l'introduction du programme de recherches *Centrale thermique 2020 / CCS* en 2006, on a porté le rendement électrique des centrales à cycles combinés (centrales CCG) de 58,5 % à plus de 60 %. Dans l'intervalle (état mi-2011), les quatre grands constructeurs – General Electric, Siemens, Mitsubishi et Alstom – ont annoncé pouvoir offrir des installations dont le taux de conversion (du combustible en courant électrique) est

supérieur à 60 %. Deux installations de démonstration sont déjà en service dans le monde (General Electric au Pays de Galles, et Siemens en Allemagne).

**Réduction des rejets de CO<sub>2</sub>:** Au-delà de la réduction des rejets de CO<sub>2</sub> par l'amélioration du rendement de la centrale, il convient de progresser dans ce sens en utilisant des combustibles qui engendrent peu ou pas de telles émissions, comme la biomasse, et en captant le CO<sub>2</sub> dans la mesure du possible en cours de production (jusqu'à -80 % de CO<sub>2</sub>). Une étude à ce sujet, faite dans le cadre du programme, montre que l'adjonction de 15 % de biomasse (pour 85 % de gaz) semble techniquement possible et réalisable à brève échéance. Par contre, la séparation du CO<sub>2</sub> au cours du processus reste entachée d'une diminution de rendement de 5–10 %, malgré les progrès techniques accomplis. Le potentiel de stockage géologique de CO<sub>2</sub> en Suisse a été évalué à 2,7 milliards de t de CO<sub>2</sub> (étude faite en 2010). Mais le développement de dépôts exigera encore des recherches géologiques.

**Stabilisation du réseau** (par l'injection flexible de courant): la turbine à gaz confère la souplesse à la production d'électricité grâce au fait qu'elle démarre rapidement et que l'on peut en moduler le régime. Le développement futur des centrales CCG tendra à tirer parti intégralement de la souplesse d'un équipement qui réagit à bref délai sans trop solliciter le système subséquent (turbine à vapeur), plus inerte.

Une centrale CCG moderne se caractérise par un délai de connexion et une «spinning reserve» de 100 MW en 15–30 minutes, avec des gradients de charge de l'ordre de 1 MW par seconde. La combinaison de composants et de circuits électroniques de puissance intelligents permettra de compenser sans dommage de soudains fléchissements de tension sur le réseau.

#### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

L'un des objectifs majeurs du programme de recherches est de renforcer la position de la Suisse comme centre de recherche et industriel dans le domaine des centrales à gaz modernes, en regroupant les activités et en coordonnant les visions incarnées dans différents projets. Dans la foulée, on s'assurera ainsi la possibilité de toujours disposer des technologies et des systèmes les plus appropriés pour la production de courant en Suisse. Bref, il faut maintenir et consolider la place de l'industrie suisse des centrales dans le monde, y compris celle des nombreux sous-traitants (PME) et celle du contexte universitaire.

#### Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération

Ce programme de recherches est un élément important du point clé «Systèmes énergétiques». En vue d'assurer la sécurité d'approvisionnement de la Suisse en électricité même sans les centrales nucléaires et avec un apport élevé d'énergie renouvelable, la centrale à cycles combinés alimentée au gaz est une option à envisager. Sa souplesse de fonctionnement permet de stabiliser les réseaux électriques tout en assurant la qualité d'approvisionnement réclamée par la population et par l'industrie. Les méthodes de séparation du CO<sub>2</sub> développées au sein du programme de recherches pourront s'appliquer à d'autres procédés industriels, contribuant davanta-

	2011	2025	2050
Rendement électrique du système [%]	60	62,5	65
Réduction des rejets de CO <sub>2</sub> [%]	-15	-30	-80
Réseau stable	dans certaines limites	largement	absolument
Site de stockage de CO <sub>2</sub> en CH	identifié	install.pilote	réalisé

Tableau 7 Quelques-uns des objectifs du programme Centrales 2020 / CCS

ge encore à réduire les rejets de CO<sub>2</sub> dans le pays. Le développement de dépôts géologiques de CO<sub>2</sub>, soutenu dans le cadre du programme de recherches, est également indispensable.

### Thèmes de recherche 2013 – 2016

Techniquement, l'objectif principal est de maximiser le rendement électrique d'un équipement combiné à turbines à gaz et à vapeur. Une valeur nettement supérieure à 60 % (de l'ordre de: 62–63 %) devrait pouvoir être atteinte avec le gaz. Ce sera vraisemblablement le niveau du meilleur standard au plan mondial en 2020.

Autre objectif, la réduction des rejets de CO<sub>2</sub> par l'utilisation, à hauteur de 15% (par rapport à la puissance thermique totale), de combustible ne grevant pas le bilan du CO<sub>2</sub> (en particulier des produits de gazéifi-

cation tirés de biomasse) dans l'exploitation de centrales à cycles combinés. De plus, l'adoption de modes de fonctionnement spéciaux facilitant la séparation et la conservation du gaz carbonique devrait permettre de réaliser des potentiels de réduction du CO<sub>2</sub> (–80 %) nettement plus élevés.

L'exploitation désormais croissante de ressources renouvelables mais fluctuantes, telles que le vent et la photovoltaïque, pour la production d'électricité soumet les réseaux électriques à des variations de tension subites, qu'il faudra compenser par d'autres ressources. C'est pourquoi le programme de recherches vise également à rendre les centrales CCG encore plus aptes à assumer cette fonction stabilisatrice du réseau d'approvisionnement. On doit développer pour cela des techniques autorisant des gradients de charge plus élevés (+/–3 % par seconde), avec un fonction-

nement indépendant de la fréquence du réseau.

Les objectifs du programme de recherches ressortent du Tableau 7.

### Mise à profit des résultats

L'industrie suisse des centrales, avec ses sous-traitants et avec le contexte universitaire qui la soutient, compétitive sur le plan mondial, occupe une part de marché significative. Les activités liées au programme servent à maintenir et consolider la position de cette industrie et de la recherche suisse sur les centrales à gaz les plus avancées. Dans le même temps, le pays est assuré de disposer lui aussi des techniques et systèmes les meilleurs pour la production d'électricité.

### 3.1.6 Réseaux

Tant les dispositions légales, qui évoluent en Suisse même, que le marché intérieur européen de l'énergie, qui se met en place sous l'impulsion de l'UE, conditionnent durablement la production, le transport et la distribution d'électricité, suscitant de nouvelles exigences en particulier pour le réseau. Simultanément, les réseaux et les systèmes doivent répondre à des sollicitations complexes du fait de la pénurie d'agents fossiles qui menace, de l'essor rapide des ressources renouvelables (parfois fluctuantes) et d'autres développements technologiques annoncés. A ce contexte en pleine évolution doit correspondre un effort de recherche continu, axé aussi bien sur le proche avenir que sur le long terme.

Concernant les réseaux, la recherche s'applique à analyser et concevoir des systèmes électriques intégrés, y compris l'élaboration du projet, son développement et son exploitation.

L'un des objectifs majeurs consiste à développer des méthodes de conception, de

régulation, de contrôle et d'analyse. Ces méthodes se basent sur des instruments théoriques de régulation et d'optimisation. Elles doivent être applicables dans l'industrie confrontée à des problèmes réels, ou bien elles doivent fournir des enseignements au législateur et au politique. Les questions économiques et l'approche interdisciplinaire y revêtent une importance croissante.

#### Etat de la recherche

Les technologies les plus diverses sont d'ores et déjà disponibles et connaissent des développements continus (p.ex. la communication, la technique de mesure, l'automatisation, la télécommande). Le véritable défi, pour les réseaux, consiste à intégrer tous les instruments en un système opérationnel coordonné, sûr et fiable dans son fonctionnement (p.ex. intégration de petites installations productrices, de sources d'énergie renouvelable fluctuantes, de

l'électromobilité). La complexité du champ d'investigation fait que toutes les données disponibles n'ont pas la même profondeur, d'où la difficulté d'en faire un système qui fonctionne. Ainsi il manque aujourd'hui de projets pilotes et de démonstration de grande envergure qui serviraient à déceler les lacunes du savoir, à tester la faisabilité technique et économique, et à la démontrer dans la pratique.

#### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

Les gestionnaires de réseaux se voient confrontés à des défis de taille (p.ex. l'intégration des énergies renouvelables, la libéralisation du marché en Suisse et en Europe), parfois aggravés par les prescriptions réglementaires. Faute de dispositions légales concernant le financement, les gestionnaires de réseaux encore tenants du monopole naturel hésitent à prendre des en-



gagements pour certains thèmes de recherche pourtant importants.

Pour assurer la sécurité d'approvisionnement et améliorer l'efficacité du système, il est indispensable de développer sans retard des solutions appropriées et de les faire appliquer sur une large échelle.

De plus il faut élaborer les bases techniques nécessaires en vue d'une réglementation efficace et appropriée touchant les réseaux.

### **Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération**

Du fait de ses qualités intégratrices, le programme *Réseaux* joue un rôle important dans le point clé «Systèmes énergétiques».

Mais dans la perspective de l'adhésion des clients finaux au système d'approvisionnement énergétique (Smart Grid), il existe aussi des liens incontestables avec les trois autres points clés.

### **Thèmes de recherche 2013 – 2016**

On ne saurait assurer l'approvisionnement électrique à long terme sans répondre prioritairement à un éventail de questions touchant toute la chaîne des activités qui vont de la production au consommateur final, en passant par le transport et la distribution de courant. Comme le système ne peut fonctionner correctement qu'en harmonie avec les pays voisins, les points clés de la recherche à ce sujet correspondent à ceux de l'Europe.

### **Objectifs spécifiques**

- Architecture des réseaux de transport et de distribution: instruments de planification, technologies du réseau, principes régissant le câblage / la construction de lignes aériennes ;
- Gestion du réseau de transport: surveillance et coordination transfrontalières, critères de sécurité, exploitation des capacités et services-système ;
- Gestion du réseau de distribution: monitoring et commande des réseaux à basse tension, automatisation des réseaux à moyenne tension, exploitation des capacités, Asset Management ;
- Intégration des énergies renouvelables: intégration dans les réseaux à basse tension (protection, qualité, etc.) et à moyenne tension, intégration et gestion des accumulateurs, intégration de l'électromobilité ;
- Clientèle finale: déplacement de la charge, notamment avec *Demand Side Participation*, intégration de bâtiments ;
- Conception du marché: gestion des goulots d'approvisionnement, intégration des agents renouvelables dans le marché, clientèle finale des accumulateurs ;
- Technologies de l'information et de la communication: saisie, transfert, traitement et protection de l'information, protection des infrastructures critiques.

Le réseau de demain devra être équipé de manière à pouvoir intégrer sûrement et économiquement toute centrale, quelles qu'en soient la technologie, la taille et la caractéristique d'injection, et couvrir en tout temps les besoins de la clientèle finale. Il

faut dégager des principes à cet effet, et préciser en particulier comment mener le jeu de l'adaptation de l'offre de courant à la demande (p.ex.. Demand Side Participation, intégration d'accumulateurs) et comment rendre les réseaux capables de supporter le volume croissant des échanges transfrontaliers d'électricité.

Parallèlement aux travaux de recherche, il s'agit de développer une feuille de route montrant comment et dans quel but les réseaux suisses devront être aménagés à l'avenir pour autoriser une exploitation durable. Différents scénarios conduisent à la définition d'un état futur à concrétiser, d'où l'on pourra induire les démarches à accomplir et évaluer les coûts de développement et d'investissement qui en résulteront pour la collectivité. La question du modèle de financement est primordiale et devra trouver réponse aussi.

### **Mise à profit des résultats**

- La collaboration entre Hautes Ecoles, entreprises d'approvisionnement énergétique et industrie doit être active et suivie pour aboutir à la mise en oeuvre optimale des résultats de la recherche dans des applications ;
- Il sera créé des bases permettant d'appliquer, à l'échelon national et international, des réglementations appropriées et efficaces. A cet effet, il est essentiel de mettre en réseaux les recherches accomplies dans différents pays, ce qu'autorisent des coopérations actives et suivies (AIE, EU, D-A-CH, etc.).

### 3.1.7 Combustion

En Suisse, 75 % de la chaleur et de la force utiles (énergies motrice et électrique) est produite par combustion.

Comme il en restera ainsi à l'avenir, il importe de réaliser le potentiel d'optimisation qui subsiste dans ce processus. Il s'appliquera de plus en plus à des combustibles non fossiles tels que la biomasse, ainsi qu'à des vecteurs énergétiques synthétiques de diverses provenances.

La combustion est un mode multisectoriel de conversion d'énergie s'appliquant dans de nombreux domaines, tels que les centrales thermiques, le couplage chaleur-force, le chauffage, la mobilité, certains procédés industriels ou la biomasse. Le programme de recherches porte sur l'amélioration des méthodes et instruments ainsi que des systèmes constitutifs de la combustion et de leurs composants, mais aussi des mécanismes globaux, avec leurs interdépendances.

Les travaux visent à accroître le rendement exergétique, à réduire les besoins de combustibles fossiles et donc les rejets de CO<sub>2</sub> et de substances polluantes telles que les suies, les particules fines, les oxydes d'azote ou les hydrocarbures, et à optimiser les systèmes de combustion pour les agents renouvelables.

Le programme de recherche s'occupe également spécialement de l'utilisation de la combustion dans les installations à couplage de chaleur force (installations CCF).

L'approvisionnement énergétique par système CCF est encore en Suisse d'une importance secondaire (part de 3 %). Les coûts ainsi et les émissions supplémentaires de CO<sub>2</sub> sont considérés comme critiques. Les systèmes avec une haute flexibilité de mise en œuvre et un rendement exergétique élevé sont favorisés compte tenu de l'approvisionnement énergétique futur. L'utilisation de combustibles non fossiles deviendra aussi importante.

#### Etat de la recherche

La recherche sur la combustion se caractérise par une bonne connaissance des phénomènes chimiques et physiques complexes liés au processus, qu'il soit stationnaire ou non-stationnaire (haute pression) et de leur simulation numérique. La validation a lieu au moyen de prises de vue à grande vitesse et à résolution élevée, avec mesure laser sur des bancs d'essai reproduisant le mieux possible les conditions réelles. Un exemple reconnu dans le monde est la chambre de combustion pour gros moteurs diesel développée par l'EPF de Zurich et Wärsilä Suisse.

Mais pour améliorer réellement les systèmes de combustion, il faut mieux en comprendre les mécanismes. Cela exige une connaissance précise des interactions de la chimie et des turbulences à l'intérieur de la chambre de combustion, afin d'optimiser la gestion d'énergie lors de la formation du

mélange air/carburant et de son allumage. Ces phénomènes très complexes pourront désormais être mieux étudiés à l'aide de superordinateurs. Des outils de simulation accéléreront le développement de systèmes améliorés de combustion et réduiront les coûts de développement.

La recherche s'intéresse de plus en plus aux combustibles non fossiles. Connaissant le processus de combustion, on peut décrire les qualités requises des combustibles synthétiques pour en développer des méthodes de production.

Un regard en arrière permet d'affirmer que les recherches sur la combustion ont bien répondu à des exigences toujours croissantes. Ainsi il a été possible depuis 20 ans de réduire d'environ 90% les rejets d'oxydes d'azote des moteurs à combustion interne des véhicules utilitaires et de plus de 95 % ceux des automobiles, tout en abaissant de près de 30 % leurs rejets spécifiques de CO<sub>2</sub>.

L'amélioration des systèmes de combustion a des répercussions positives sur les installations de CCF. La recherche élabore en outre des mesures visant l'augmentation de la rentabilité du système. C'est le cas pour l'utilisation de la chaleur résiduelle, les coûts de l'installation et les frais d'exploitation. Il faut aspirer à des appareils nécessitant le minimum d'entretien.

#### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

La combustion revêt une importance primordiale dans l'utilisation d'énergie en Suisse. En outre, c'est une technologie «transversale», appliquée pour la conversion d'énergie dans nombre de domaines.

Il importe d'en améliorer encore le processus afin d'exploiter le plus efficacement possible, et en ménageant l'environnement, des ressources fossiles qui diminuent et des agents énergétiques organiques peu abondants. Le niveau très élevé des recherches sur le sujet accomplies dans

	2011	2025	2050
<b>Diesel camions</b>			
NO <sub>x</sub> [g/kWh]	2	0,1	0,05
Suies [mg/kWh]	20	5	1
η cycle de conduite [%]	40	45	50
<b>Moteur à gaz stationnaire [kW]</b>	100 / 10	100 / 10	100 / 10
NO <sub>x</sub> par 5 % O <sub>2</sub> [mg Nm <sup>3</sup> ]	2 / 10	0,5 / 2	0,1 / 1
η <sub>el</sub> [%]	40 / 30	45 / 38	50 / 42

Tableau 8 Quelques-uns des objectifs du programme Combustion

l'industrie et dans les Hautes Ecoles suisses est reconnu au plan mondial. Mais pour répondre aux attentes de la population (réduction de la consommation d'énergie et des rejets de CO<sub>2</sub>), la recherche visant à affronter la concurrence doit se doubler d'un effort et de moyens supplémentaires. Parallèlement à l'électrification partielle de la mobilité, il faut améliorer encore le moteur à combustion. A cela s'ajoute la perspective d'une future production de courant à laquelle des systèmes à combustion pourront fournir un apport important. Les installations CCF permettent d'utiliser de manière optimale les vecteurs énergétiques engagés aussi en terme de valence. La part pouvant fournir un travail est transformée en courant électrique, et la chaleur résiduelle est utilisée pour combler des besoins en températures faibles comme par exemple le chauffage de bâtiments. Grâce à un démarrage rapide, les installations peuvent également être mises à contribution pour combler les pics énergétiques et comme énergie de réglage.

L'aide publique permettra d'intégrer de nouveaux points forts dans les projets de recherche. Les marchés internationaux ouverts aux entreprises suisses qui offrent des systèmes de combustion font que les résultats de la recherche, utilisés dans le monde entier, déploient des effets globaux.

### **Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération**

La combustion a sa place dans chacun des quatre points clés du plan directeur. Ainsi elle servira à optimiser l'application du couplage chaleur-force dans le bâtiment et à améliorer les motorisations dans les transports de demain – et cela également avec des combustibles organiques. Les futurs systèmes énergétiques fonctionneront en partie avec des agents énergétiques à base d'hydrocarbures, amenés à une forme utilisable le plus souvent par voie thermo-chimique (combustion). Un défi particulier est celui des systèmes de combustion impliqués dans des procédés, tels qu'on en

trouve dans l'industrie du ciment ou dans la mise en valeur des déchets. Il faut mentionner aussi les machines de production avec moteur à combustion interne, par exemple dans l'industrie de la construction et dans l'agriculture.

### **Thèmes de recherche 2013 – 2016**

La priorité doit être donnée à l'accroissement du rendement exergétique des systèmes de combustion et partant, à une meilleure exploitation de la valence des agents énergétiques utilisés. À cela s'ajoute l'exigence d'une réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. L'emploi de carburants neutres ou pauvres en CO<sub>2</sub> est étudié, de même que l'amélioration du rendement.

Il faut poursuivre l'amélioration des systèmes destinés aux combustibles organiques et synthétiques, et adapter en conséquence les modèles et les bases de données numériques et les étoffer. L'utilisation de différents combustibles dans un seul et même système pose des exigences particulières. De nouveaux combustibles devront être adaptés aux besoins de la combustion.

Il importe de déployer un effort de recherche accru en vue de réduire les polluants tels que les suies et l'oxyde d'azote émis par les gros moteurs diesel. Les qualités requises des moteurs de véhicules changent par exemple avec le recours au mode hybride et l'adoption de moteurs de petite cylindrée fortement poussés. Il faut prêter une attention particulière aux phénomènes qui caractérisent les fonctionnements transitoires et en charge partielle.

### **Objectifs techniques et économiques**

On trouvera au Tableau 8 quelques exemples des rendements exigés à l'avenir des systèmes de combustion. Ces valeurs s'appliquent aussi à d'autres systèmes. Principaux objectifs visés:

- Accroissement du rendement exergétique des systèmes dans leur ensemble,

- avec pour effet la baisse de la consommation d'énergie et des rejets de CO<sub>2</sub> ;
- Réduction des rejets polluants tels que les particules de suie et les oxydes d'azote ;
- Optimisation des systèmes utilisant des combustibles organiques ;
- Optimisation des systèmes permettant l'utilisation de différents combustibles ;
- Réduction des coûts des systèmes de combustion de faible volume, malgré des exigences accrues ;
- Optimisation technique et économique de l'intégration de systèmes CCF dans le chauffage des bâtiments et le réseau énergétique ;
- Amélioration des connaissances et des modèles de simulation des phénomènes chimiques et physiques de combustion ;
- Développement des vecteurs d'expérimentation pour la validation des modèles de simulation ;
- Renforcement des liens de coopération entre recherche industrielle et recherche dans les Hautes Ecoles.

### **Objectifs spécifiques**

- Des gros moteurs diesel admettant l'alimentation variable et moins polluants.
- Meilleur rendement exergétique et réduction des coûts des petits et moyens systèmes CCF avec réduction de leurs rejets polluants.
- Optimisation des moteurs à combustion interne des systèmes hybrides.
- Réduction des rejets des gros moteurs à gaz et des moteurs diesel très poussés, par amélioration de la commande de Miller.
- Définition des caractéristiques idéales des futurs combustibles tirés de la biomasse, dans l'optique d'un rendement maximal et de rejets polluants minimaux.
- Renforcement des données de base et des modèles numériques en vue de l'utilisation de combustibles de type nouveau.

- Optimisation globale du moteur à combustion interne, allant de la formation du mélange au traitement des gaz d'échappement, à l'aide de méthodes de mesure et de calcul rapides en vue de parvenir à une commande plus exacte des cycles dans chaque cylindre.
- Identification et réalisation des potentiels d'amélioration des foyers industriels.
- Représentation de l'intégration de petits appareils CCF dans des bâtiments déjà existants et du contrôle du réseau électrique.
- Optimisation de l'utilisation de l'exergie dans les systèmes de CCF, y compris dans les gaz d'échappement.

### Mise à profit des résultats

Les excellents rapports entretenus entre acteurs de la recherche dans les Hautes Ecoles et dans l'industrie ainsi qu'avec ceux de la production et de la commercialisation font que les résultats passent réellement dans la pratique. Il faut mentionner aussi les projets pilotes et de démonstration, menés conjointement avec des programmes de l'OFEN axés sur l'application,

tels que le programme de recherches *Transports*. Ainsi les centres de recherche sont en Suisse, mais la destination des produits est universelle. Cela veut dire diffusion globale des résultats obtenus et donc, multiplication de leur apport à l'utilisation durable de l'énergie.

Tout cet effort profite d'événements tels que la «Tagung Verbrennungsforschung in der Schweiz», la participation au sein des organes internationaux de recherche tels que l'AiE ou dans des projets de l'UE, ou encore avec l'association allemande «Verbrennungskraftmaschinen».

## 3.1.8 Technologie des procédés

Comme tous les pays industrialisés, la Suisse investit beaucoup dans les procédés et dans la technique de fabrication. Il en résulte un apport important à la création de valeur, mais aussi un gros volume de rejets de CO<sub>2</sub> dans notre pays, car les procédés représentent environ 15 % de la consommation finale d'énergie et 43 % des rejets de CO<sub>2</sub> par des combustibles et des carburants. Cet aspect a été trop souvent négligé jusqu'ici. On peut supposer que l'optimisation ciblée du mode d'utilisation des ressources renferme un potentiel de 30–50 % d'économies.

Les recherches relatives aux procédés s'étendent de plus en plus souvent aussi aux techniques de fabrication. Etant donné l'éventail des technologies applicables, la collaboration avec d'autres programmes de recherches est nécessaire.

Il s'agit avant tout de soutenir l'industrie dans le développement de méthodes qui permettent de réduire la consommation d'énergie primaire et les rejets de CO<sub>2</sub>. Les champs d'action sont la recherche de bonnes techniques de substitution, l'intégration et l'amélioration de technologies pour l'exploitation des rejets de chaleur, des ressources renouvelables et de la biomasse (bioraffinerie), ainsi que le développement

et la mise en œuvre des méthodes et instruments (de décision).

### Etat de la recherche

Les techniques adoptées pour les procédés relèvent de disciplines d'application et de mise en œuvre mûries. Le dimensionnement des installations, leur optimisation et leur exploitation se fondent avant tout sur des considérations économiques, environnementales et sécuritaires. Il en est résulté un bon niveau de développement des améliorations énergétiques.

Il reste que la préoccupation énergétique ne s'impose que progressivement, sous l'effet de la pression politique, du souci de l'approvisionnement et d'une prise de conscience croissante de la durabilité. Même si nombre de technologies sont d'ores et déjà concrètement disponibles, les obstacles à leur adoption restent importants: brièveté des délais d'amortissement dans l'industrie (<1 année), disponibilité maximale exigée des installations (productivité) et qualité indispensable des produits. De même, on a encore trop peu développé une vision globale et durable des aspects énergétiques.

Voilà pourquoi la recherche et le développement énergétiques portant sur les procédés techniques nécessitent un gros travail de consolidation et de mise en réseaux pour parvenir à un niveau élevé de recherche et de résolution.

### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

L'industrie suisse est confrontée en permanence au défi de produire à des prix compétitifs, notamment à cause d'exigences concernant l'environnement et l'énergie, souvent plus aisées à satisfaire à l'étranger. De plus, l'incertitude règne quant à l'évolution future des prix de l'énergie et à une éventuelle pénurie.

Les incitations à prendre des mesures (recherche et mise en œuvre) sont faibles. A cela s'ajoute que l'exploration des voies et moyens de s'assurer de nouveaux gains de compétitivité se doit d'être durable et globale, ce qui fait que l'aide des collectivités publiques est indispensable.



## **Contribution du plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération**

Au sein du point clé « Processus », qui couvre toute la durée de vie des produits y compris les prestations de services, le programme de recherches *Processus techniques* étudie les questions de production. Cela implique de nombreux liens avec d'autres points clés et avec les programmes de recherches technologiques.

### **Thèmes de recherche 2013 – 2016**

A long terme, il s'agit de faire en sorte que le facteur «Energie» fasse partie intégrante de l'optimisation à tous les stades de l'activité, qui vont du développement au renouvellement des installations de production en passant par le dimensionnement et l'exploitation.

Dans l'intervalle, on élaborera des solutions en termes de procédés innovateurs (basse température) qui permettent de réduire la consommation. La priorité sera donnée à l'exploitation des rejets de chaleur, tant chez le fournisseur que chez le client, et à l'utilisation de ressources renouvelables (énergies solaire et géothermique) pour la production.

Il faut par ailleurs maintenir l'appui donné à l'utile développement d'instruments de monitoring énergétique, dits Life Cycle Analysis (LCA) et Decision-Aid-Tools, dont le potentiel d'application est élevé en Suisse. Cependant, on ne négligera pas les efforts en faveur de la biomasse (collecte, traitement améliorés) et l'étude de solutions par branches.

Enfin l'attention doit se porter aussi sur la consolidation des réseaux nationaux et internationaux, une information adaptée des

groupes-cibles, qu'il faut sensibiliser et intéresser au thème de l'énergie.

### **Objectifs spécifiques**

A la différence des véhicules ou des bâtiments, les procédés ne sont pas soumis à des valeurs-limites. Il faut pourtant parvenir à en chiffrer la consommation d'énergie dans leurs phases successives, à l'attribuer aux produits concernés (label énergétique) et à déceler les potentiels d'amélioration. Cela passe principalement par la technologie des instruments de saisie et de monitoring. Il conviendrait de commercialiser deux ou trois de ces instruments et de proposer l'attribution d'un label. La définition d'un procédé doit désormais comprendre dans tous les cas le justificatif de l'utilisation optimale des rejets de chaleur, et inclure le recours aux sources de chaleur renouvelables. Au préalable, on lancera trois ou quatre démonstrateurs et un nombre suffisant de projets pilotes et de démonstration. La bioraffinerie mérite un projet de recherche ou de développement, les procédés efficaces, trois. En outre on établira une feuille de route. Au moins une solution à l'échelon d'une branche doit parvenir au stade de l'application.

En résumé, les objectifs pour la période 2013–2016 sont les suivants:

#### **Procédés efficaces**

- Des systèmes de transport de chaleur fiables et peu polluants ;
- Des technologies produisant peu de CO<sub>2</sub> en lieu et place de procédés thermiques (séchage mécanique) ;
- La réduction de la consommation d'énergie des machines-outils.

#### **Utilisation des rejets de chaleur (avec connaissance des potentiels)**

- Récupération d'exergie dans les centres de calcul et autres procédés à basse température ;

- Des bases de conception et de calcul pour une ingénierie efficace et pour la transparence des prix.

#### **Utilisation de sources d'énergie renouvelables (avec stockage de courant)**

- Production de chaleur industrielle et stockage (150–400 °C) ;
- Préchauffage d'installations de production.

#### **Développement d'instruments**

- Développement, évaluation et commercialisation d'instruments de monitoring, de LCA et de décision pour le dimensionnement d'installations de production jusqu'à l'échelle des régions.

#### **Bioraffinerie (en collaboration avec d'autres programmes et offices)**

- Développement de nouveaux procédés de production et d'utilisation de biomasse ;
- Mise au point de modèles de décharges inédits pour une chaîne de production de biomasse de type nouveau.

#### **Solutions par branches**

- Les principaux destinataires sont l'alimentation, la métallurgie, la cimenterie et les industries du papier et des matières synthétiques.

### **Mise à profit des résultats**

Le contact étroit avec la mise en oeuvre (forte participation de l'industrie, tant pour le financement que pour l'application des résultats obtenus) est de règle dans à peu près tous les projets. Il conviendra de soutenir aussi la participation accrue à des réseaux et programmes internationaux (surtout AIE et programmes de recherche UE), sources d'incitations de part et d'autre, ainsi que le transfert de technologie en Suisse même.

### 3.1.9 Transports

En Suisse, les transports représentent la plus grosse tranche de la demande finale d'énergie (33,7 %). De 1990 à 2010, celle-ci a passé de 262,5 PJ à 307,3 PJ (Statistique globale suisse de l'énergie 2010). En 2009, environ 66% de cette demande émanait du trafic routier, alors que le trafic ferroviaire n'en absorbait que 4 %.

Entre 1989 et 2005, la distance moyenne parcourue dans le trafic individuel à moteur (TIM) a passé de 22,2 à 26,2 km par personne et par jour (+18 %), alors que dans les transports publics (TP), elle augmentait de 22 % (de 6,5 à 7,9 km). Ces moyennes se rapportent pour 68,8 % au TIM, et pour 20,1 % aux TP (OFS 2007).

Le programme de recherches *Transports* a pour objectif principal de réduire la consommation d'énergie dans ce secteur, et surtout dans le TIM. Par ailleurs il faut préconiser un transfert vers les énergies renouvelables, qui aura pour corollaire une meilleure sécurité de l'approvisionnement. Ensuite, il importe de réduire aussi les rejets polluants et la consommation de ressources, tout en renforçant la position de la Suisse (économie, formation professionnelle) et la sécurité. Des avancées dans ce sens ont déjà eu lieu, que ce soit dans la technique automobile (moteurs à haut rendement et légèreté des structures) ou avec des petits véhicules nouveaux (p.ex. vélo ou scooter électrique).

Plus généralement, la recherche dans le domaine des TP doit en favoriser l'accès, afin de contribuer ainsi au transfert des TIM aux TP.

#### Etat de la recherche

L'ensemble des automobiles neuves vendues en Suisse en 2010 avait une consommation moyenne de carburant de 6,82 l/100km, d'un facteur 2,5 à 4 fois plus élevée que les véhicules actuellement au banc d'essai au stade de la recherche.

Le record absolu de rendement énergétique – non utilisable dans sa forme actuelle – appartient au PAC-Car II de l'EPF de Zurich, capable de parcourir 100 km avec 0,019 l d'équivalent essence. Côté moteurs, les technologies les plus diverses se côtoient et connaissent encore des développements (p.ex. moteur à essence et moteur diesel, moteur électrique avec accumulateur et / ou convertisseur d'énergie avec pile à combustible, combinaisons hybrides). Côté carburants, les produits pétroliers resteront absolument dominants, au moins à moyen terme. A plus long terme, ils pourront être au moins partiellement remplacés par le gaz naturel et le biogaz, par des carburants synthétiques et des bio-carburants, voire par l'hydrogène et l'électricité. Pour alléger les véhicules, deux approches sont possibles, adoptées isolément ou ensemble: recours à des matéri-

aux de faible densité, ou raffinement dans la conception, la voie la plus prometteuse. Certes, l'industrie automobile ne «paie» le fournisseur de composants allégés que par environ 1,5 € supplémentaire par kilogramme de poids économisé, mais le producteur de tels composants peut lui-même s'économiser des coûts de matériau.

En plus de ces mesures, on peut user des techniques d'information et de communication pour orienter le trafic et le rendre plus fluide, mieux exploiter le réseau, voire éviter du trafic, et partant, économiser l'énergie, notamment, avec des effets connexes positifs pour l'environnement, la sécurité et la capacité du système. Les premières tentatives pour amener de futures automobiles à contribuer à l'équilibre de charge du réseau électrique sont à l'étude (Smart Grid).

#### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

Avec la globalisation, les entreprises suisses fournissant l'industrie automobile ou fabricant du matériel roulant pour les TP sont confrontées à un défi majeur. Ensemble, ces deux branches génèrent chaque année quelque 18 milliards de francs d'exportations (industrie horlogère: 14 milliards). De plus, nombre d'innovations ayant trouvé leur place dans l'industrie des véhicules sont d'origine suisse. Il importe d'assurer et de développer la position de pointe conquise par des instituts de recherche tels que l'EMPA, les EPF, le PSI et les Hautes Ecoles spécialisées de Berne et de Lucerne.

	2011	2025	2050
Consom. autos neuves [l /100 km]	6,62	3,5	2,5
Poids des véhicules [kg]	1400	1200	700
Rendement moteur [%]	20	30	50
Apport énergie renouvelable [%]	5	20	75
Anteil rekuperierte Energie [%]	0	10	20

Tableau 9 Quelques-uns des objectifs du programme *Transports*.  
Les chiffres se rapportent à la situation actuelle pour les automobiles. Il est également prévu de pousser les travaux de R+D de véhicules plus petits et très efficaces pour les déplacements à faible distance.

## Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération

Le programme de recherches *Transports* occupe bien entendu la première place dans le point clé « Mobilité », mais il apporte aussi des contributions aux « Systèmes énergétiques », par exemple dans l'intégration de l'automobile électrique au réseau (Smart Grid). On pourrait du reste envisager aussi la production décentralisée de courant et son injection à partir de moteurs à combustion interne / génératrices ou de piles à combustible. Les problèmes à résoudre ici sont ceux du rendement global et de la durée de vie des convertisseurs d'énergie. Le moteur à combustion interne d'une automobile accomplit quelque 8000 heures de marche. Le convertisseur d'énergie d'une centrale, lui, a une durée de vie bien plus longue.

### Thèmes de recherche 2013 – 2016

La mobilité est un besoin fondamental. Il faut toutefois la débarrasser de ses effets négatifs – surtout les rejets de CO<sub>2</sub> – et la convertir à l'énergie renouvelable. Ainsi le

point clé *Transports* du programme de recherches vise le consommateur principal, soit le trafic motorisé individuel. Mais on ne négligera pas pour autant le trafic marchandises, le trafic aérien international, en forte croissance, et le trafic maritime global – qui recèlent des potentiels énormes d'économies et surtout de réduction des rejets nocifs.

### Objectifs spécifiques

Le programme de recherches *Transports* poursuit ses efforts, de pair avec les programmes Accumulateurs, Biomasse et bois-énergie, Pile à combustible, Electricité, Réseaux et Combustion, en vue de développer des types de mobilité peu gourmands d'énergie et durables. Les objectifs à long terme (Tableau 9) sont les suivants:

- Réduire la consommation de toutes les automobiles neuves à moins de 2,5 l/100 km ;
- Remplacer dans la mesure du possible le trafic automobile local par du trafic lent et par les TP ;
- Transférer le TIM sur distances moyennes et longues aux TP et à la mobilité combinée ;

- Eliminer le recours à l'énergie fossile dans les transports (décarbonisation).

### Mise à profit des résultats

Une collaboration très active s'est instaurée entre les Hautes Ecoles, l'industrie et les autorités. C'est la condition de la mise en œuvre optimale des résultats de la recherche dans des applications et des produits de toutes sortes. Les plates-formes et groupements concernés sont par exemple:

- La collaboration suivie avec le domaine Mobilité de l'OFEN et ses secteurs e/mobile, gazMobile, NewRide et Vel-Due.
- Le Salon de l'automobile de Genève et son stand EcoCar, qui présente au public et à l'industrie les prototypes les plus efficaces.
- Tous les deux ans, le programme de recherches organise un séminaire Transports.
- Le séminaire de recherche annuel «Automotiveday» de la HTI de Berne.
- De nombreuses conférences.

## 3.2 Énergie renouvelable

### 3.2.1 Biomasse et énergie du bois

La biomasse est, après la force hydraulique, la deuxième source d'énergie renouvelable indigène pouvant contribuer de façon substantielle à l'approvisionnement et à la réduction des rejets de CO<sub>2</sub> en Suisse. Il s'agit d'en exploiter au mieux le potentiel dans les conditions du pays. On fera donc de cette recherche une préoccupation publique, car on peut en attendre de nets avantages énergétiques, écologiques et économiques. Le programme de recherches se concentre sur trois modes de conversion: la méthanisation anaérobie, la

combustion et la gazéification – et il tente à la fois de surmonter les obstacles techniques à l'innovation, et de forcer le développement des technologies existantes en les optimisant. Les principaux obstacles se situent tant dans les coûts qu'au stade de l'application la plus efficace. Un progrès à ce dernier titre va non seulement abaisser les coûts, mais aussi diminuer substantiellement les rejets de tout le système.

De plus, l'efficacité améliorée se traduira par un apport plus élevé d'énergie utile pour une quantité donnée de biomasse.

### Etat de la recherche

La Suisse privilégie trois modes de conversion:

**La méthanisation anaérobie:** ici il s'agit de dégager des enseignements relatifs aux rejets et aux mesures à prendre pour les réduire. On recherchera aussi l'optimisation

on des procédés en vue de diminuer la consommation d'énergie tout en augmentant la production de gaz. Autres thèmes importants, le traitement des digestats et leur qualité.

**Combustion:** la préoccupation principale est de réduire les rejets polluants – aussi bien par des mesures primaires que secondaires – et de choisir les combustibles appropriés.

Des systèmes de combustion qui puissent être alimentés par différentes sortes de carburants et présentant des caractéristiques d'exploitation robustes (systèmes automatiques non influençables par l'exploitant) doivent de plus être développés. De même des techniques de production de courant et de CCF à haut rendement et faibles coûts doivent encore être développées.

**Gazéification:** pour cette technique, l'attention se porte surtout sur le diagnostic et sur l'amélioration du rendement ainsi que sur le traitement du gaz. Parallèlement, on progressera dans le développement de nouveaux procédés de gazéification des autres types<sup>vii</sup> de biomasse. Ces dernières années, d'abondantes notions de base ont été acquises dans ce domaine. Il faut maintenant les vérifier dans des installations de grandes dimensions.

Si ces trois technologies doivent être développées en prévision de leur accès au marché, il y a lieu aussi d'étudier les bilans écologiques de différents modes d'utilisation de la biomasse, car ils constituent un important instrument de comparaison pour en assurer l'efficacité. Les études portent sur différents cosubstrats, ainsi que sur

des cultures et des technologies de conversion nouvelles.

### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

La biomasse est la deuxième source d'énergie renouvelable indigène. Son apport à la couverture des besoins en Suisse est aujourd'hui de près de 5 %, et de près de 2 % à la seule production d'électricité. Le volume de biomasse pouvant être récoltée en Suisse est toutefois limité du fait de la forte densité de population, de la surface relativement modeste des terres productives, de la topographie difficile et des conditions climatiques. Il n'en reste pas moins que largement 10 % de la consommation d'énergie primaire actuelle pourrait être couvert au moyen de biomasse dans des conditions écologiques acceptables<sup>viii</sup>. Il s'agit désormais d'exploiter cette ressource de façon efficace et énergétiquement judicieuse, en réutilisant les résidus de manière optimale.

La cogénération d'électricité et de chaleur va gagner en importance à l'avenir du fait des besoins croissants d'électricité. Dans ce contexte, la biomasse peut fournir de l'énergie de réglage, servant à équilibrer l'apport fluctuant d'autres agents renouvelables tels que le vent ou la photovoltaïque. Le programme de recherches est un atout, sachant qu'il faut à la fois économiser les ressources non renouvelables, assurer la sécurité de l'approvisionnement et réduire les rejets de CO<sub>2</sub>.

### Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération

Le programme de recherches correspond aux objectifs des quatre points clés du plan directeur. Dans «Habitat et travail» par exemple, dans le domaine des technologies du bâtiment pour la couverture des besoins d'énergie. L'intégration correcte des composants est importante en l'occurrence. Le point clé «Procédés» permettra de faire progresser l'optimisation énergétique et matérielle dans la production et dans le traitement de la biomasse. Le domaine de la «Mobilité» bénéficie du programme de recherches au titre du remplacement des carburants fossiles (par du courant tiré de la biomasse pour les véhicules électriques, éventuellement par des carburants organiques). Le programme occupe une position centrale dans le point clé «Systèmes énergétiques»: la biomasse est en effet la seule ressource renouvelable permettant de produire du courant, de la chaleur et du carburant. C'est un apport important à la décarbonisation de la production d'énergie.

Ainsi désormais la biomasse reliera entre eux les quatre points clés, d'autant plus qu'une approche systémique tend à être privilégiée: il ne faut pas considérer les énergies et les procédés isolément, mais dans leur combinaison, ce qui postule l'intégration des installations. La complexité des problèmes s'accroît du fait qu'ils portent sur des systèmes et non plus sur leurs composants.

### Thèmes de recherche 2013 – 2016

L'attention doit se porter systématiquement sur l'aide aux installations pilotes et de démonstration d'équipements proches de la commercialisation. Des coûts spécifiques peu élevés seront la conséquence d'investissements modérés, puis d'un haut rendement. Simultanément, il faut s'efforcer de réduire les coûts d'exploitation des installations en place, en optimisant leurs procédés et en les complétant, le cas échéant,

	2011	2025	2050
Chaleur	→	↘	↘
Electricité	↗	↗	↗
Carburants	↗	↗	↗

Tableau 10 Orientation des travaux au sein du programme Biomasse pour la production de chaleur, d'électricité et de carburants. L'effort de recherche portera sur la production d'électricité et de carburants.



au moyen de nouvelles technologies. La production de courant à partir de biomasse génère passablement de chaleur. Il serait regrettable de ne pas en tirer parti (choix du site, nouveaux systèmes, intégration des installations). Si l'on veut renforcer l'utilisation de déchets organiques (engrais naturels, résidus), facteurs de durabilité et atouts pour le bilan des gaz à effet de serre sur toute la chaîne de production, il reste à développer des technologies permettant d'exploiter la biomasse des déchets et de réutiliser les résidus le plus complètement possible. Une telle action n'ira pas sans une collaboration étroite et suivie entre l'industrie et la recherche.

### Objectifs spécifiques

- Développer des méthodes et des technologies nouvelles :
- Au moyen de l'extension ou de la miniaturisation, adapter les méthodes proches de la mise sur le marché ;
- Optimiser, intégrer et élargir des systèmes ;
- Parfaire l'assurance qualité.

Les objectifs techniques et économiques découlent de la stratégie énergétique pour la biomasse <sup>ix</sup> fixée par l'OFEN, qui manifeste la volonté de réaliser dans toute la mesure du possible le potentiel énergétique de la biomasse de façon efficace et peu polluante.

## 3.2.2 Géothermie

La notion d'énergie géothermique recouvre trois technologies qui se différencient fortement dans leur utilisation et dans l'avancement de la recherche. L'application de la **sonde géothermique** exploitant la chaleur souterraine proche de la surface du sol pour chauffer des bâtiments est relativement mûre et elle fait l'objet d'offres compétitives. Ainsi les besoins de recherche à

Ainsi la recherche sur la biomasse s'appuie sur les options suivantes:

- Exploitation maximale de l'énergie primaire par rapport à l'énergie utile ;
- Réduction des rejets polluants à effet de serre ;
- Production d'énergie utile à valence (exergie) élevée partout où c'est possible et indiqué ;
- Aide aux technologies proches de la commercialisation dont le rapport coûts/utilité est bon ;
- Exploitation durable complète du potentiel énergétique de la biomasse indigène ;
- Approche systémique encouragée: combinaison de technologies de la biomasse avec d'autres systèmes énergétiques.

Les priorités de la recherche sur la production de chaleur, d'électricité et de carburant à partir de biomasse sont résumées dans le Tableau 10.

### Mise à profit des résultats

L'éventail des technologies actuelles de la biomasse va des premiers équipements de laboratoire à des procédés d'ores et déjà disponibles sur le marché. L'exploitation des résultats est tout aussi large. Pour les technologies commercialisées, il s'agit de

charge de la collectivité sont en bonne partie du passé. Cette technologie est applicable à peu près partout.

Les **ressources hydrothermales**, elles (p.ex. les aquifères chaudes), ne se trouvent qu'en des sites spécifiques. Là où la température de l'eau le permet, la chaleur est utilisable directement à des fins de chauffage, et lorsque les conditions sont

très favorables, on peut même s'en servir pour produire du courant. Etant donné le petit nombre d'équipements réalisés à ce jour, il reste à fournir un gros effort de recherche et développement, ainsi que pour des installations pilotes et de démonstration. les optimiser et d'en améliorer l'intégration, pour le plus grand bien des utilisateurs comme des producteurs, y compris dans l'optique de l'assurance qualité. Quant aux procédés se déroulant à l'échelle du laboratoire, ils visent à dégager un savoir et à mieux associer l'industrie aux travaux. Cela passe notamment par la présentation et la discussion critique des résultats au sein de la communauté scientifique. Tous les deux ans a lieu le congrès du bois énergie, de même que la journée de la biomasse non ligneuse. Cette journée est soutenue voire organisée par le programme de recherche. De même, en impliquant des associations professionnelles, en instaurant des groupes d'accompagnement de certains projets et en faisant participer des chercheurs actifs au sein d'organes internationaux (AIE, UE), on favorise l'évolution du projet vers le produit commercialisable. Aux résultats purement techniques correspond un écobilan, utile en premier lieu aux décideurs politiques. Que ce soit pour les nouveaux procédés ou pour l'optimisation de techniques connues, cet écobilan livre des éléments de décision et des perspectives de techniques et de démarches à envisager. Il ne faut pas oublier les considérations technico-économiques qui jouent un rôle important lorsqu'il s'agit de placer une technologie sur le marché.

**Géothermie profonde** : Quant à l'exploitation de la géothermie profonde, elle passe par des «*Enhanced ou Engineered Geothermal Systems*» (EGS). Son potentiel est très important, aussi bien en Suisse qu'ailleurs dans le monde, car le principe en est applicable dans de nombreuses régions. Mais l'exploitation durable de la chaleur située dans la roche à 5000 m de profondeur pose un énorme défi et nécessite la maîtrise de disciplines très diverses. C'est pourquoi la recherche à ce sujet bénéficie d'une priorité élevée dans notre pays et à l'étranger.

### Etat de la recherche

Au chapitre de la géothermie à basse température ou à faible profondeur, il subsiste un certain besoin de recherches pour les installations complexes et de grandes dimensions, en particulier s'il s'agit de combiner chauffage et refroidissement, de même que pour les installations à grande profondeur (> 300 m), dont il faut encore améliorer la qualité, l'efficacité et la rentabilité.

Au contraire, la géothermie profonde – tant pour l'exploitation des ressources hydrothermales que pour les EGS – pose encore bien des questions fondamentales, spécialement en ce qui concerne les méthodes de prospection, le captage des gisements, la sismicité induite ainsi que les nouvelles méthodes de forage profond. Dans le mon-

de entier, ces questions sont à l'étude dans des programmes nationaux et dans des groupes de travail internationaux.

### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

La géothermie profonde recèle un important potentiel pour la production d'électricité dans le pays sous forme d'énergie en ru-ban, mais son développement – notamment pour les EGS – en est encore à un stade précoce, de sorte que des résultats tangibles ne sont attendus qu'à moyen terme et au-delà. Bien des questions ne trouveront réponse qu'au terme de recherches extensives, largement de quoi décourager les bailleurs de fonds privés. Des efforts importants sont déployés dans des organismes internationaux (AIE, International Partnership for Geothermal Technology, Geothermal ERA-Net de l'UE), dont la Suisse fait partie formellement.

### Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération

Le programme *Géothermie* fournit des contributions importantes à tous les points clés, sauf pour la «Mobilité». La géothermie à faible profondeur est intéressante pour la production de chaleur à basse température surtout dans «Habitat et travail»,

alors que la géothermie profonde l'est surtout pour les «Systèmes énergétiques» et les «Processus». Avec la biomasse, la géothermie est considérée avant tout comme future source de courant en charge de base.

### Thèmes de recherche 2013 – 2016

La géothermie à faible profondeur, avec en particulier la sonde géothermique, relevant de l'habitat et du travail, a connu ces dernières années un essor important sur le marché. Ainsi la recherche dans ce domaine se concentre sur les besoins des systèmes complexes et sur des équipements spécifiques destinés par exemple à la production combinée de chaleur et d'électricité. Reste à étudier et à développer également la technique de forage, où des procédés permettant de creuser rapidement et à moindres frais pourront améliorer la rentabilité des installations.

Pour ce qui concerne les sources hydrothermales, les sites entrant en ligne de compte sont nettement moins nombreux que dans le cas des sondes géothermiques. Les travaux doivent se focaliser ici sur deux besoins: d'une part, approfondir l'exploration des régions possédant des aquifères, reconnues ou supposées, et d'autre part, s'investir pour la réalisation d'équipements pilotes et de démonstration, appuyée par des travaux de recherche. A moyen terme, seule l'exploitation d'aquifères relativement profondes, ayant des températures de 100–130 °C, peut autoriser la production de courant d'origine géothermique en Suisse. Il est particulièrement important d'améliorer les méthodes de prospection en vue de réduire le risque d'échec et donc, d'accroître la faisabilité économique. Cela passe notamment par une meilleure utilisation des données tirées d'anciens forages et d'études sismiques antérieures.

A long terme, le plus important potentiel de production d'électricité géothermique en Suisse se trouve dans les grandes profondeurs (*Enhanced ou. Engineered Geother-*

	2011	2025	2050
Coûts forages profonds jusqu'à 6000 m [%] (évolution)	100	80	65
Puissance installée pour la production d'électricité [MW <sub>é</sub> ]	0	55	550
Avancement technique EGS	Installations P+D <sup>1)</sup>	Entrée marché	Grandes installations
Production d'électricité EGS et hydrothermale [GWh/a]	0	440	4400
Coûts de production de l'électricité [ct./kWh]	40	25	12

Tableau 11 Quelques-uns des objectifs du programme *Géothermie*  
<sup>1)</sup>P+D: projets pilotes et de démonstration

mal Systems EGS). Aussi bien le projet pilote abandonné Deep Heat Mining de Bâle que les expériences couronnées de succès en Australie, en Allemagne, en Islande et aux USA montrent qu'un effort de recherche important et prolongé devra encore être fourni en l'occurrence, axé à la fois sur l'application et sur la recherche fondamentale, sans oublier des projets-pilotes destinés à tester la technologie EGS. La connaissance des phénomènes caractérisant un forage à plusieurs milliers de mètres de profondeur pour rejoindre une aquifère est la pierre de touche des installations pilotes; car il s'agit de définir à cet effet des démarches scientifiques, c'est-à-dire qui se prêtent au développement, à la reproduction et au contrôle. La densité de population de la Suisse fait du risque de séismes induits par la stimulation d'un gisement un aspect spécialement important de la recherche. Les gros moyens financiers requis en géothermie profonde imposent le recours à la collaboration internationale encore plus que partout ailleurs.

### Objectifs spécifiques

Le Tableau 11 regroupe quelques objectifs du programme de recherches.

Le succès commercial des sondes géothermiques et le problème de leur coût réclament des instruments d'assurance-qualité. Quant aux installations complexes servant à la fois au chauffage et au refroidissement, il importe d'en améliorer l'efficacité et le rendement.

Pour les sources hydrothermales, il faut étoffer les bases de données afin de réduire le risque d'échec dans les forages. De nouveaux projets d'exploitation permettront d'élargir le fonds d'expériences. Dans la production de courant à l'aide de la géothermie à basse température, la technique de conversion renferme un important potentiel d'optimisation de l'efficacité et du rendement.

Parmi les nombreux problèmes posés par la technologie EGS, l'ingénierie des gisements occupe une position essentielle. Elle

recouvre l'élaboration de modèles ainsi que la stimulation et l'analyse des données microsismiques. L'acquisition de ces connaissances devrait reposer sur une action coordonnée au plan international.

De son côté, la rentabilité à long terme de la géothermie profonde exige impérativement la réduction des coûts de forage.

### Mise à profit des résultats

Les projets soutenus par l'OFEN se développent avec la participation de partenaires industriels et/ou d'utilisateurs, ce qui facilite la mise en oeuvre des résultats obtenus. En outre, la direction du programme organise des tables rondes pour l'échange d'informations et d'expériences, ou bien elle apporte son aide à des tiers qui s'en chargent. A l'échelon international, il est fait usage des canaux de l'UE, de l'AIE, de l'IPGT et autres, rendus accessibles aux intervenants de Suisse.

## 3.2.3 Solaire industriel à haute température

Ce programme de recherches comporte trois grands axes d'investigation: la thermo-chimie solaire, la chaleur solaire dans des processus industriels et les centrales CSP (concentrating solar power, CSP).

En thermo-chimie solaire, (températures de 1500 à 2000 °C), l'accent est mis sur le développement et l'optimisation des procédés de production d'hydrogène et de gaz de synthèse (Syngas). Quant à la production de chaleur pour des processus industriels

au moyen de systèmes solaires à moyenne et haute température (150 à 250 °C), elle se développe continuellement et offre une bonne alternative aux agents fossiles. Enfin les installations CSP (températures de 400 à 800 °C) sont en phase de commercialisation et leur exploitation peut d'ores et déjà être rentable dans certains cas. Dans le scénario le plus favorable, de tels équipements pourraient représenter une puissance installée totale de 100 GW d'ici en 2025. A la fin de 2010, le chiffre était d'en-

viron 820 MW; à la même époque, les projets en cours de réalisation représentaient 1,8 GW et les installations en projet, 14,5 GW.

### Etat de la recherche

Au coeur de la recherche en thermo-chimie solaire figure en particulier la production d'agents énergétiques par conversion de certains matériaux au moyen d'énergie solaire en vue d'obtenir des combustibles (hydrogène, Syngas) stockables et transportables. La recherche sur la chaleur solaire utile dans des processus industriels vise à optimiser les systèmes et leurs composants, et à réaliser des installations pilotes et de démonstration ainsi que des équipements de taille industrielle.

Quant à la recherche en CSP, elle s'applique surtout à améliorer la puissance des composants (notamment optiques et pour

	2011	2025	2050
<b>Coeff. d'efficacité de la conversion d'énergie solaire / énergie chimique</b>			
Energie solaire → Zn [%]	15	30	35-40
Energie solaire → H <sub>2</sub> [%]	10	15	17-20

Tableau 12 Quelques-uns des objectifs du programme Exploitation industrielle de l'énergie solaire

le transport de chaleur) en vue d'accroître le rendement des installations et d'abaisser les coûts de production.

### **Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux**

En thermochimie solaire, la Suisse occupe une position de pointe dans le monde, grâce notamment aux travaux de l'EPFZ et du PSI. Pour les processus industriels et les installations CSP, le SPF ainsi que Airlight et d'autres entreprises sont très bien introduits. Mais un soutien politique et financier de la Confédération leur est absolument nécessaire pour tenir leur position.

Aussi bien en Suisse qu'au plan mondial, les trois technologies mentionnées recèlent un important potentiel, même si la rentabilité de leur application n'est pas attendue dans l'immédiat, mais seulement à court ou moyen terme (CSP), à moyen terme (chaleur industrielle), voire au-delà du moyen terme (thermochimie). Dans l'intervalle, l'aide financière de la Confédération leur est indispensable.

### **Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération**

Les domaines de recherche de ce programme peuvent être rattachés sommairement à deux des quatre grands axes de la recherche énergétique suisse:

- «Processus»: la thermochimie solaire pour la production de matériaux, le stockage d'énergie et les processus solaires pour la production de chaleur à haute température destinée à des processus industriels ;
- «Systèmes énergétiques»: la thermochimie solaire pour la production d'hydrogène et de Syngas ( $H_2/CO$ ) en vue d'obtenir des carburants liquides, des équipements CSP pour la production d'électricité et le stockage d'énergie.

### **Thèmes de recherche 2013 – 2016**

En Suisse, la thermochimie solaire est axée avant tout sur la production de zinc au moyen du cycle thermochimique ZnO/Zn. Le deuxième domaine, celui des processus industriels, vise la mise au point de systèmes permettant l'intégration d'énergie solaire dans des processus ordinaires de production industrielle. Pour ce qui est des installations CSP, il s'agit de conquérir des marchés de niche et de développer des héliostats / concentrateurs, des capteurs, des turbines, des échangeurs de chaleur et des logiciels, ainsi que des installations pilotes et des réalisations similaires.

#### **Objectifs spécifiques**

##### **Thermochimie solaire (Tableau 12)**

- Terminer les travaux de recherche sur le cycle ZnO/Zn ;
- Poursuivre le développement du réacteur solaire en vue de la thermo-dissociation ;
- Optimiser le prototype de réacteur solaire de 100 kW et concevoir un réacteur semblable de taille industrielle ;
- Optimiser le réacteur pour la production thermo-chimique de combustible et de Syngas en vue de la production de combustibles liquides.

##### **Chaleur à haute température pour processus industriels**

- Développement de systèmes et de composants (p.ex. des capteurs) plus puissants qui soient compétitifs ;
- Participation de la Suisse à la création d'une norme européenne et internationale pour tubes caloporteurs dans les systèmes à coulisses paraboliques ;
- Création d'un centre suisse de compétences et de recherches dans le domaine de la chaleur solaire concentrée.
- Réalisation en Suisse de plusieurs projets de taille industrielle.

#### **Installations CSP**

- A partir de technologies actuelles ou nouvelles: développer des installations (capteurs tours, systèmes de capteurs cylindro-paraboliques, installations paraboloides et autres) et des composants (concentrateurs, capteurs, systèmes de stockage, etc.) destinés avant tout à l'exportation ;
- Amélioration le rendement des installations tout en réduisant les coûts et la dépense d'énergie grise ;
- D'ici à 2025, abaisser les coûts de stockage d'énergie liés aux plus récentes technologies, qui sont de 2–3 €/kWh («Pebble bed storage»), à 1,5–2 €/kWh. Le support le plus courant aujourd'hui pour stocker de l'énergie produite par CSP est le sel liquide (50 €/kWh) ;
- Les coûts de production d'énergie devraient passer de quelque 0,14 €/kWh aujourd'hui à 0,1 €/kWh (soit à Grid parity) ;
- Simplifier les installations (mode de construction, entretien) ;
- Développer un système à la fois écologique et économique de stockage de l'énergie ;
- Réaliser en Suisse plusieurs projets de taille industrielle.

#### **Mise à profit des résultats**

Les résultats obtenus dans le programme seront diffusés en Suisse et à l'étranger dans des symposiums, des conférences et des séminaires consacrés à la chaleur solaire à haute température exploitée à des fins industrielles, ainsi que dans le cadre des travaux pour le programme AIE SolarPACES.

En thermochimie solaire, des applications à grande échelle sont à prévoir à moyen terme et au-delà. En revanche, la phase d'application a déjà commencé pour les processus industriels et les installations CSP.



### 3.2.4 Photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque est aujourd'hui en plein essor, avec son développement technologique, l'industrialisation globale et la mise en œuvre à grande échelle. A moyen terme et au-delà, elle offre le plus important potentiel de production d'électricité renouvelable.

Au cours des 25 années écoulées, la Suisse s'est forgé une solide position dans différents domaines de la recherche en photovoltaïque: au premier plan figurent les développements relatifs à plusieurs techniques de couches minces, qui ont depuis toujours constitué le fer de lance de la recherche en photovoltaïque dans ce pays.

A partir des recherches sur de nouveaux types de cellules solaires, on en est progressivement venu à des applications industrielles. Mais le programme comprend aussi des travaux d'ingénierie des systèmes électriques ainsi que sur l'intégration dans les bâtiments et dans les réseaux

Parallèlement à la recherche au sein des instituts et des Hautes Ecoles, l'industrie déploie aujourd'hui une intense activité de développement technologique, qui a mené à la création d'une branche de la photovoltaïque couvrant toute la chaîne de production de valeur, avec un chiffre d'affaires annuel qui avoisine les 2 milliards de francs. Les moyens requis pour la continuation d'un programme de recherche en photovoltaïque sont d'au moins 30 millions

CHF/année, dont 15–20 % par l'intermédiaire de l'OFEN.

#### Etat de la recherche

La Suisse occupe, sur le plan international, une position de pointe dans plusieurs domaines de la recherche en photovoltaïque. Le PV-Lab de l'EPFL influence fortement la mise en œuvre industrielle des cellules solaires en couches minces amorphes et micro-morphes de silicium, et il déploie un gros effort de recherche pour accroître encore le rendement des cellules et en réduire les coûts.

Plus récemment, le PV-Lab a également entrepris des travaux de recherche et développement de cellules HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin layer). L'EMPA obtient régulièrement des rendements records avec des cellules solaires CIGS et pousse avec force à l'établissement, à titre d'expérience-pilote, d'une ligne d'enduction de type nouveau pour les cellules solaires de ce genre. L'EMPA est également active dans la recherche fondamentale de cellules organiques et de nouvelles formules. Quant à l'EPFL, elle travaille depuis une vingtaine d'années (recherche et développement) dans le domaine des cellules à colorant.

En comparaison internationale, le développement de systèmes complets intégrant

des éléments de bâtiment photovoltaïques nouvellement conçus et des systèmes intégrés pour des modules standards progresse de manière très satisfaisante en Suisse.

Le laboratoire de photovoltaïque de l'Ecole technique supérieure de Berthoud et l'institut ISAAC de la SUPSI ont acquis, au cours des deux dernières décennies, une réputation internationale comme centres de compétences pour la technique des onduleurs et des systèmes ainsi que des modules photovoltaïques et l'intégration des bâtiments.

#### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

Pour réaliser entièrement le potentiel de l'électricité photovoltaïque, il est nécessaire d'en réduire les coûts de production. Cela veut dire faire progresser encore le développement des cellules solaires, tant en ce qui concerne leur rendement, leurs propriétés électriques et optiques que leur production et leur coût.

Il faut donc étudier de nouvelles combinaisons de matériaux et repenser les technologies, puis élaborer les processus industriels correspondants. A l'échelon des systèmes, on recherchera l'intégration dans le bâtiment, et un apport important d'électricité solaire au réseau. Le développement nécessaire de la photovoltaïque impose des standards élevés, s'appliquant aux compétences scientifiques et aux infrastructures de laboratoires, et l'implication vigoureuse et continue des institutions publiques de recherche à tous les niveaux. Cela ne va pas sans l'aide de la collectivité publique.

	2011	2025	2050
<b>Objectifs techniques</b>			
$\eta$ Modul in der Produktion [%]			
Cellules cristallines	14–20	> 21	> 25
Cellules en couches minces	7–12	12–17	20
Cellules organiques	5	10	15
<b>Objectifs économiques</b>			
Prix système [CHF/W]	4	1,5	0,8
Coût prod. de courant [CHF/kWh]	0,35	0,15	0,09

Tableau 13 Quelques-uns des objectifs du programme de recherche en photovoltaïque

## Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération

La photovoltaïque a sa place dans différents points clés du *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*. La principale contribution intéresse les «Systèmes énergétiques», avec des solutions touchant le futur approvisionnement en électricité. Par ailleurs, les applications photovoltaïques se situent pour une bonne part dans le bâtiment, d'où un apport substantiel à «Habitat et travail». Enfin il existe des contributions ponctuelles à la «Mobilité».

## Thèmes de recherche 2013 – 2016

Les objectifs de la recherche suisse en photovoltaïque peuvent se résumer ainsi : réduction des coûts par le renouvellement de l'approche technologique, augmentation du rendement des composants et du système, notamment pour les cellules et modules solaires, réduction des besoins de matériaux et d'énergie, mise au point de procédés et de produits industriels, fiabilité et assurance qualité, options à long terme concernant les futurs types de cellules solaires et enfin, intégration dans le bâtiment et dans le réseau électrique.

## Objectifs spécifiques

- Poursuite du développement de cellules solaires en couche mince (plus de rendement, moindre coût) ;
- Développement de cellules à haut rendement (p.ex. cellules HIT, gestion photonique) ;
- Choix des matériaux pour de nouveaux types de cellules solaires (cellules organiques, p.ex.) ;
- Procédés de production industrielle de différentes cellules solaires à couches minces (p.ex. silicium, CIGS) ;
- Nouveaux produits multifonctions pour l'intégration dans le bâtiment ;
- Intégration optimisée des toits et façades solaires dans les installations du bâtiment ;
- Adaptation du réseau en vue de l'injection massive de courant photovoltaïque ;
- Collaboration avec les autres producteurs d'énergie renouvelable, notamment en vue d'optimiser la gestion des stocks et le contrôle de la consommation.

La photovoltaïque affronte un marché globalisé. Ses objectifs techniques et économiques s'appuient donc sur des standards reconnus au plan international, p.ex. ceux de la EU Photovoltaic Technology Platform ou de l'AIE. Cela concerne en tout premier

lieu les sous-traitants, nombreux dans notre pays, et l'industrie des machines. Le Tableau 13 résume une sélection d'objectifs du programme.

## Mise à profit des résultats

La photovoltaïque suisse couvre une bonne partie de sa chaîne de création de valeur au moyen de processus et de produits industriels ainsi que de prestations de services. Ainsi l'application des résultats de la recherche reste assurée. Il conviendrait d'accélérer l'évolution en consolidant le transfert à l'industrie au moyen de structures institutionnelles. La collaboration fructueuse avec l'industrie et avec la branche de l'électricité ne peut qu'y gagner. Les échanges usuels sur le plan national et avec les associations professionnelles concernées doivent se poursuivre. En outre la Suisse s'associe activement aux réseaux et aux programmes internationaux, notamment ceux de l'UE et de l'AIE et à leurs projets, auxquels elle participe régulièrement. Cette collaboration, solidement établie, est primordiale pour la photovoltaïque suisse. Elle est l'assurance d'être partie prenante à une évolution internationale rapide.

## 3.2.5 Chaleur solaire et stockage de chaleur

Ce programme de recherches porte sur la chaleur solaire jusqu'à 150 °C de température. L'accent est mis sur la couverture des besoins dans le bâtiment au moyen de systèmes actifs, ainsi que sur le stockage compact de chaleur. Le solaire thermique pourra couvrir une part importante des besoins d'énergie de la Suisse, notamment dans la plage de températures allant de 10 à 60 °C.

### Etat de la recherche

On peut résumer ainsi l'avancement de la recherche dans les domaines de la chaleur solaire et du stockage de chaleur:

1. **Capteurs:** La recherche de polymères appropriés pour les applications solaires est nécessaire. On trouve sur le marché surtout des absorbeurs en cuivre et de plus en plus en aluminium. La qualité du verre peut encore être améliorée, mais elle est relativement bonne, à condition d'avoir été

soigneusement définie par le fabricant. La recherche doit encore résoudre les problèmes de surchauffe des capteurs.

2. **Nouvelles propriétés:** Les technologies des couches minces peuvent conférer au verre ou à l'absorbeur des propriétés particulières optiques ou thermiques.

3. **Systèmes de chauffage:** Un chauffage uniquement solaire n'étant guère réalisable aujourd'hui, les travaux portent donc sur la combinaison de différents systèmes.

**4. Stockage journalier, stockage saisonnier:** Ceci est un aspect décisif, à long terme. On cherche encore le matériau de haute densité présentant les plus faibles déperditions de chaleur.

**5. Evaluation de la performance:** Il convient d'enrichir régulièrement les outils de simulation actuels.

**6. Intégration architecturale:** Une grande question est celle de la couleur des capteurs solaires et de leurs dimensions.

**7. Au plan international,** l'accent est mis sur: les grands systèmes solaires, le refroidissement solaire, la durée de vie des tubes évacués, les capteurs hybrides ou aérothermes, la combinaison de l'énergie solaire et de la pompe à chaleur ainsi que sur l'énergie solaire dans les processus industriels.

### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

Le marché suisse est insuffisamment développé dans ce secteur. Les entreprises concernées (PME avec 10 à 100 collaborateurs) subissent la pression de la concurrence de technologies polluantes. Or la chaleur solaire offre un très important potentiel d'économies d'énergie importée (mazout, gaz, voire électricité). Dans un premier temps, les pouvoirs publics doivent soutenir l'innovation, le développement de technologies de qualité, les méthodes de

tests et de mesures de cette qualité et leur introduction sur le marché indigène.

### Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération

Le programme de recherches *Chaleur solaire et stockage de chaleur* contribue à couvrir les besoins d'eau sanitaire et de chauffage dans le bâtiment et à terme de climatisation. Il s'inscrit donc dans la ligne du point clé «Habitat et travail de demain».

### Thèmes de recherche 2013 – 2016

Les thèmes prioritaires sont les suivants:

- Amélioration des performances des capteurs solaires ;
- Accumulateurs de chaleur performants et stockage à long terme ;
- Systèmes de chauffage combinés optimisés ayant une composante solaire thermique ;
- Outils de planification avec fonctionnalités élargies.

### Objectifs spécifiques

#### Capteurs solaires thermiques

- Développement de revêtements afin d'améliorer des caractéristiques spécifiques, comme la thermochromie par

exemple ;

- Amélioration de la durabilité du circuit solaire, y compris la limitation des effets de la stagnation ;
- Etude de nouveaux capteurs (verre, polymères, ...).

#### Stockage de chaleur

- Amélioration d'accumulateurs de chaleur à eau dans le but d'augmenter l'effet de stratification et de diminuer les pertes d'exergie ;
- Recherche de combinaisons d'accumulateurs avec MCP (matériaux à changement de phase) pour augmenter la durée de stockage et / ou la productivité des capteurs ;
- Etudes des solutions de stockage avec procédé de sorption (zéolithe, NaOH) et combinaison de matériaux ;
- Caractérisation de matériaux pour le stockage thermochimique et pour la mise en place d'un nouveau pôle de recherche dans ce domaine afin d'obtenir des solutions de stockage à long terme avec une haute densité énergétique.

#### Systèmes

- Optimisation des combinaisons «solaire et pompe à chaleur» ;
- Analyse des effets sur l'environnement des installations solaires thermiques et démonstration de leur potentiel de réduction des impacts ;
- Etude du rôle du stockage de chaleur à court et long terme dans des réseaux énergétiques (smart networks), avec des dispositions centralisées aussi bien que décentralisées.

#### Instruments de conception, logiciels

- Elargissement de la fonctionnalité d'outils de simulation à des systèmes solaires combinés et à l'optimisation des systèmes ;
- Intégration des prévisions de rayonnement reposant sur des données satellitaires dans un outil de planification tel que Meteonorm.

	2011	2025	2050
<b>Coefficients moyens A0/A1 [W/m<sup>2</sup> K]</b>			
non vitré	0,90/14,0	0,95/10,0	0,97/5,0
vitré	0,85/3,9	0,88/3,0	0,90/2,5
tubes évacués	0,75/1,9	0,80/1,5	0,88/1,0
avec concentration C100	0,67/1,0	0,70/0,90	0,85/0,50
<b>Coûts chaleur solaire [ct./kWh]</b>			
Piscine	5–15	5–10	5–10
Eau sanitaire, 70 % solaire	20–30	15–20	10–15
Chauffage, 40 % solaire 10 kW	25–40	20–30	15–20
Chauffage 100 % solaire 10 kW	40–100	25–35	15–20

Tableau 14 Quelques-uns des objectifs du programme Chaleur solaire et récupération de chaleur

### Objectifs techniques et économiques (Tableau 14)

- Amélioration continue de la puissance (rendement moyen 50 %) et de la durée de vie des capteurs (au moins 20 ans sans corrosion) ;
- Connaissance du fonctionnement de tous les types de capteurs couplés à une PAC ;
- Standardisation de systèmes clés en main afin de réduire les coûts et le risque de défaut de l'installation ;
- Mise au point de solutions standards optimisées pour systèmes combinés pompe à chaleur/solaire ayant des coûts annuels compétitifs par rapport à la seule pompe à chaleur, mais avec un apport accru d'énergie renouvelable (coeff. de performance annuel > 5) ;

- Production de chaleur solaire pour bâtiments à prix compétitif ;
- Mise au point d'une technologie de stockage durable de chaleur dans un matériau de haute densité pour maisons individuelles (sans préalable économique pour l'instant) ;
- Réalisation de projets solaires de grandes dimensions avec stockage saisonnier souterrain, et évaluation du potentiel de ce type d'équipement ;
- Participation au développement du refroidissement solaire, éventuellement relié à des systèmes solaires combinés d'exploitation des surplus de chaleur en été.

### Mise à profit des résultats

Les résultats de la recherche – notamment au SPF (Rapperswil) et à la HEIG d'Yverdon – sont directement utilisables par les industries associées aux travaux.

Les bureaux d'ingénieurs travaillant à la mise au point d'installations peuvent élargir leur savoir au moyen d'instruments tels que Polysun ou en participant à des exposés et colloques nationaux et internationaux (EuroSun, OTTI, ISES-SWC, CIS-BAT, Journée SPF de l'industrie, séminaire PAC/OFEN à Berthoud).

La collaboration avec des startups permet de réaliser des modèles de projets, généralement initiés par les Hautes Ecoles concernées (EPFL, HEIG Yverdon, HSR Rapperswil). On favorise ainsi la création d'entreprises en s'appuyant sur les travaux et brevets issus du programme de recherches.

## 3.2.6 Barrages

La sécurité des barrages repose avant tout sur leur stabilité. Si l'ouvrage lui-même (digue, voûte ou barrage au fil de l'eau) reste au centre des préoccupations, non moins importantes et souvent plus difficiles à apprécier sont la qualité du sous-sol et des contreforts, voire celle des flancs du bassin de retenue. Mais le programme de recherches s'intéresse aussi aux installations connexes de protection contre les débordements et aux installations de vidange. En l'occurrence, les travaux portent moins sur les questions d'énergie que sur les aspects sécuritaires.

### Etat de la recherche

Au cours des années 1980, les travaux de recherche étaient souvent consacrés au comportement des barrages en cas de séisme, à la sécurité par hautes eaux, à la mécanique de rupture et au comportement des contreforts rocheux – avec à la clé des résultats substantiels. Ces investigations ont fortement diminué depuis le milieu des années 1990. Si l'on s'est focalisé au début

sur la surveillance permanente de l'état des barrages, depuis dix ans, ce sont les phénomènes de gonflement du béton qui retiennent l'attention. Or il n'y a pas sur ce sujet de recherche internationale, pas plus que sur les barrages en général. Seul fait exception «The Dam Safety Interest Group (DSIG)», composé surtout de propriétaires de barrage, où la Suisse n'est pas représentée. Notre pays a en revanche participé au projet UE NW-IALAD (Network Integrity Assessment of Large Concrete Dams), de 2002 à 2005, destiné à établir des contacts entre chercheurs et spécialistes et à définir les besoins afin de proposer, dans une seconde phase, une recherche concertée au plan européen. Cette intention n'a pas été suivie d'effet, parce qu'aucune personne responsable de la coordination n'a pu être désignée, en dépit des résultats satisfaisants de la phase initiale.

### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

L'OFEN supervise l'application de l'ordonnance concernant la sécurité des ouvrages d'accumulation et assume les tâches incombant directement à la Confédération.

Le vieillissement des constructions peut susciter des problèmes naguère inconnus. De même, des changements dans l'environnement risquent de poser des problèmes nouveaux.

Il est indispensable pour la Suisse de disposer du savoir nécessaire pour être en mesure de traiter les questions que cela soulèvera. Des spécialistes en nombre suffisant doivent se trouver chez les exploitants, au stade de l'élaboration des projets et aussi au sein des autorités, pour relever le défi.

Il faut donc à la fois accroître nos connaissances techniques concernant les barrages et les constructions annexes, et former des jeunes au métier d'ingénieurs. Au surplus, les barrages font partie des infrastructures dont dépend la sécurité de l'approvisionnement. Celle-ci est une des tâches principales de l'OFEN. C'est pourquoi il



faut faire en sorte que cet office dispose encore à l'avenir du personnel qualifié nécessaire.

En outre, l'OFEN peut attribuer des mandats de recherche et de développement, et contribuer ainsi à l'augmentation du savoir et au perfectionnement professionnel. Il doit en particulier initier les investigations requises dans son optique mais que le secteur privé n'entreprend pas.

### **Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération**

Comme ce programme traite en premier lieu des questions de sécurité, il ne vise pas directement les objectifs énergétiques du Plan directeur de la Confédération. Mais il contribue à la sécurité d'infrastructures importantes et de plus, il traite des questions essentielles pour le développement des bassins de retenue, de sorte que son apport indirect n'est pas contestable.

### **Thèmes de recherche 2013 – 2016**

Le renouvellement des barrages existants, éventuellement leur démolition et le traitement des sédiments, tels sont les thèmes qu'il faudra aborder à l'avenir.

Mais certaines revendications importantes sont dues à l'esprit du temps. La population escompte aujourd'hui un niveau de sécurité élevé. Cela pose la question de la résistance aux séismes ou du recours aux grands barrages comme protection contre les inondations.

Pour la sécurité de l'approvisionnement, la politique doit répondre à des questions telles que l'accroissement de puissance ou une gestion différente des équipements existants, ou encore l'extension des bassins d'accumulation ou leur dragage. Autant de problèmes à étudier.

### **Objectifs spécifiques**

En Suisse, la recherche concernant spécialement les barrages se poursuit dans deux directions, avec de part et d'autre un appui substantiel de l'OFEN.

- *Gonflement du béton*: L'EPFL mène présentement une étude, programmée sur 4 ans, financée conjointement par l'OFEN et par Swisselectric Research. L'intention est de déterminer les déformations survenant lors de réactions entre alcalis et silicate et entre alcalis et silice, cela aussi sous contrainte, en fonction de divers paramètres. Il s'agit de la continuation de recherches qui se poursuivent depuis huit ans à l'EPFL, financées par l'OFEN.
- *Rupture de barrages avec un faible volume de retenue*: Ce projet, conduit dans la même institution, est également prévu pour durer 4 ans, la dernière année étant réservée au transfert des résultats dans la pratique.

Les besoins immédiats, pour l'OFEN, comportent aussi le renforcement ou le lancement de projets de recherche dans les domaines ci-après:

- Altération du béton des barrages, due en particulier aux réactions entre agrégats et alcalis et à des réactions similaires. L'intention est de consolider le

groupe d'accompagnement et d'élargir le champ de recherches.

- Situation en cas d'inondation majeure. Il faut instituer un groupe d'accompagnement et élaborer un cahier des charges.
- Surveillance en grand du territoire: là encore, il faut instituer un groupe d'accompagnement et élaborer un cahier des charges ;
- Vérification des modèles de prévision statistiques ;
- Hypothèses de charge dynamiques (séismicité) ;
- Réseau de mesure des forts séismes pour les barrages: il s'agit de renouveler le réseau actuel en considération des barrages en béton.

### **Mise à profit des résultats**

Le savoir déjà acquis grâce au programme de recherches n'est pas toujours parvenu à la connaissance des utilisateurs, ou bien il reste à le rendre utilisable dans la pratique. Aussi le transfert des enseignements de la recherche (au moyen de rapports techniques et de rencontres d'information supplémentaires) à ceux qui les appliqueront représente-t-il un élément essentiel du plan directeur de la section Barrages de l'OFEN.

La diffusion des résultats de la recherche est faite par les institutions en cause par le biais de publications spécialisées, d'exposés publics, de contributions à des conférences internationales ainsi que dans des colloques spécialisés et des workshops.

### 3.2.7 Force hydraulique

En Suisse, la force hydraulique contribue par environ 55 % à la production d'électricité, et cela pour plus de la moitié dans des centrales à accumulation. Celles-ci représentent la source d'énergie la plus précieuse, parce qu'elles sont capables d'offrir en quelques minutes des capacités importantes. Mais le gros de leur potentiel est très largement réalisé. A cela s'ajoute que les changements climatiques entraînent un recul de la production, de même que les prescriptions relatives à la protection des eaux. Il importe de surcompenser ce manque à produire en construisant de nouvelles centrales et en agrandissant les autres. Un certain potentiel de développement subsiste aussi dans le secteur des petits aménagements hydrauliques.

Le programme de recherches vise à faciliter l'exploitation la plus poussée de la force hydraulique dans une optique intégrative.

#### Etat de la recherche

La recherche sur les grandes installations hydrauliques a lieu tant dans les EPF que dans les Universités et les Hautes Ecoles spécialisées. Nombre de projets sont menés en partenariat avec la branche, que ce soient les exploitants de centrales ou les fabricants de turbines et d'autres équipements importants.

Il en va différemment pour les petits aménagements hydrauliques, dont les exploitants n'investissent guère dans la recherche. Cet aspect intéresse en revanche bien des bureaux d'ingénieurs et de PME fabriquant des composants isolés.

#### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

Pour la Suisse, la force hydraulique est un atout économique de toute première valeur pour assurer durablement l'approvisionnement énergétique. A l'échelon européen aussi, cette ressource ne fait que gagner en importance, notamment grâce aux centrales à accumulation et à pompage-turbi-

nage, car il s'agit de stocker d'énormes quantités d'énergie renouvelable, à la production incontrôlable.

Etant donné l'imbrication de la force hydraulique dans de nombreux aspects de la vie, et du fait qu'elle marque de son empreinte la nature et les paysages, il importe que le public ait son mot à dire sur l'activité de recherche dans ce domaine.

#### Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération

Dans le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*, la force hydraulique est une composante essentielle des «Systèmes énergétiques de demain». En outre elle est concernée au premier chef pour fournir des services-systèmes électriques, de l'énergie de pointe et des capacités de stockage. Le développement futur du réseau et de son exploitation devra correspondre à celui de la force hydraulique et des grandes centrales à accumulation.

#### Thèmes de recherche 2013 – 2016

La production suisse de force hydraulique est progressivement entravée par l'évolution climatique (fonte des glaciers, ensablement des retenues) et par les mesures prises pour la protection des eaux (débits résiduels, effets d'écluses). Pour en maintenir le niveau, voire l'accroître dans son ensemble, il faut étudier et mettre en œuvre toutes sortes de mesures destinées à améliorer l'exploitation des équipements et à en créer de nouveaux. Il faut étudier également les problèmes liés à la protection des eaux et du paysage dans l'optique de ces développements. La demande de capacités de stockage croît rapidement, de même que les exigences de flexibilité dans leur mise en œuvre (pompes et turbines), ce qui veut dire qu'il faut repenser la conception de ces éléments afin de les rendre ap-

tes désormais à fonctionner en charge partielle et à supporter des fluctuations répétées. De nombreuses centrales à accumulation devant être modernisées, partiellement renouvelées et agrandies, l'étude des mesures à prendre pour en améliorer le rendement et pour accroître la production s'impose.

Pour les petits aménagements hydrauliques, on en connaît aujourd'hui le potentiel théorique de développement; il reste à mieux en définir les conditions de réalisation. Certains composants techniques peuvent encore être améliorés.

#### Objectifs spécifiques

A la différence d'autres technologies, celle de la force hydraulique est parvenue à un très haut degré de maturité et il s'agit moins de résoudre des problèmes fondamentaux que d'adapter les systèmes aux conditions générales qui évoluent, sur le long terme. Les installations doivent en effet être conçues pour fonctionner pendant une très longue durée (40 ans et davantage) de manière économique, écologique et sûre. Sur le plan technique, les installations à haute pression – c'est-à-dire les centrales à accumulation et à pompage-turbinage – doivent être rendues aptes à satisfaire à des conditions d'exploitation très variables, aux effets des changements climatiques et aux exigences de la protection des eaux. Concrètement, on cherchera comment réduire l'ensablement des bassins de retenue à un degré acceptable à long terme, ou comment envisager, dans une optique économique et pratique, l'assainissement de tronçons d'éclusées malgré la demande toujours plus forte de stockage de courant et d'électricité de pointe.

Pour les petits aménagements hydrauliques, il convient de développer des techniques standard, moins coûteuses. Economiquement, il importe de mieux évaluer les risques financiers inhérents aux très longues durées d'amortissement, les installations hydrauliques devant pouvoir être adaptées à des conditions cadres mouvantes. A

cet effet, il faut améliorer les méthodes d'élaboration des projets afin de mieux prendre en compte les incertitudes et les risques liés à l'hydrologie ou au prix du courant.

### Mise à profit des résultats

L'utilisation immédiate des résultats de la recherche relative à l'exploitation de la for-

ce hydraulique est assurée, parce que des sociétés exploitantes se sont associées aux travaux, quand elles n'ont pas contribué à les lancer. Les thèses y relatives paraissent dans des publications scientifiques nationales et internationales et sont présentées dans des colloques et des workshops.

Quant aux petits aménagements hydrauliques, l'introduction de la RPC et la déci-

on de sortir du nucléaire leur ont valu une dynamique nouvelle. Les résultats des recherches dans ce domaine sont publiés par exemple dans «Eau Energie Air» et présentés lors des réunions régulières sur la force hydraulique pour la région des Alpes (p.ex. Otti-Tagung).

Ainsi les enseignements recueillis sont très demandés et on peut admettre qu'ils sont appliqués sans retard.

## 3.2.8 Hydrogène

Comme agent énergétique chimique, l'hydrogène devrait contribuer de façon substantielle, à long terme, à réduire la dépendance aux énergies fossiles. En Suisse, il fait l'objet de recherches depuis plusieurs décennies. Le pays dispose des meilleures compétences pour la recherche et le développement dans ce domaine, actives aussi bien au sein des Ecoles Polytechniques Fédérales, des Universités et des Ecoles Techniques que dans des petites et moyennes entreprises. Leurs travaux sont fortement imbriqués dans des projets internationaux. Le programme de recherches *Hydrogène* tente de coordonner les activités à l'échelon national et international, tout en encourageant la collaboration entre les divers intervenants publics et privés. Les moyens financiers disponibles à titre subsidiaire à cet effet s'ajoutent aux fonds en provenance des collectivités publiques et

de l'industrie. Il conviendrait d'étoffer ces fonds d'au moins 2 millions de francs par année, en particulier pour des installations pilotes et de démonstration, afin de faire progresser l'industrialisation de technologie de l'hydrogène dans le pays.

Les trois accents du programme de recherches sont la recherche fondamentale, surtout sur les matériaux, le développement de systèmes ainsi que la démonstration et les essais dans des projets-pilotes. Les principaux thèmes d'investigation technologique sont les méthodes de production à partir de sources d'énergie renouvelables (photoélectrolyse, production thermique solaire d'hydrogène, électrolyse de solides à haute pression et à haute température), ainsi que le stockage d'hydrogène sous forme solide et dans des hydrocarbures synthétiques pour application dans la mobilité.

### Etat de la recherche

Dans plusieurs secteurs, des instituts suisses de recherche occupent une position de pointe. L'EPFL étudie, en collaboration avec l'EMPA et avec l'Université de Bâle, de nouveaux matériaux peu coûteux entrant en ligne de compte pour la production photoélectrochimique (PEC) d'hydrogène. Cette recherche comporte en particulier la poursuite du développement de photoanodes nanostructurées à partir d'oxyde de fer (hématite). La Suisse s'appuie sur une longue tradition dans le développement d'électrolyseurs à haute pression, efficaces, avec un électrolyte alcalin et dans la gamme des hautes puissances. La recherche se focalise sur la combinaison de tels équipements avec des ressources renouvelables telles que l'énergie éolienne, ainsi que sur le développement de matériaux pour de nouveaux types de membranes. Elle porte aussi sur des formules entièrement nouvelles d'électrolyse à très haute pression.

L'EMPA s'est attaché au développement d'hydrures de métal complexes sous forme solide pouvant stocker de l'hydrogène dans leur structure cristalline. On y étudie aussi la possibilité de le stocker sous forme de composés hydrocarbonés tel l'acide formique.

	2011	2025	2050
<b>Objectives techniques</b>			
PEC rendement solar-to-H <sub>2</sub> [%]	7	>15	>18
PEC durée de la vie appareils [1000 h]	>1	>60	>100
Rejets Well-to-Tank [kg CO <sub>2</sub> /kg H <sub>2</sub> ]	12	5	0
<b>Objectives économiques (coûts)</b>			
Production d'hydrogène pour PEC [€/kg]	–	<3	<3
Hydrogène tiré d'énergie renouvelable <sup>1)</sup> [€/kg]	<13	<6	<4

Tableau 15 Quelques-uns des objectifs du programme Hydrogène  
<sup>1)</sup> Production et distribution

### **Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux**

Il faut poursuivre le développement de méthodes de production d'hydrogène peu coûteuses et franches de CO<sub>2</sub>, en vue d'applications dans la mobilité, ainsi que pour le stockage efficace et la distribution de l'hydrogène. Celui-ci doit jouer un rôle important sous forme d'agent énergétique dans la décarbonisation des transports. D'où la nécessité d'un développement technologique, notamment dans l'industrialisation, qui ne peut se faire que par la collaboration étroite entre experts des Hautes Ecoles, des Universités et de l'industrie. Or rien ne va plus sans la mise à disposition de ressources pour les infrastructures (laboratoires, appareils), qu'il incombe aux collectivités publiques de soutenir.

### **Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération**

La technologie de l'hydrogène a sa place dans différents points clés du *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*. Comme vecteur énergétique de la pile à combustible, l'hydrogène joue un grand rôle pour la réduction des re-

jets de CO<sub>2</sub> dans les transports. C'est donc un apport primordial au point clé « Mobilité ». Comme vecteur chimique durable, il sera précieux en particulier pour compenser les fluctuations stochastiques de la production d'électricité de source renouvelable. Il a donc sa place dans les « Systèmes énergétiques », par exemple en vue de la stabilisation des réseaux ou pour la conservation d'énergie d'origine renouvelable.

### **Thèmes de recherche 2013 – 2016**

L'accent est mis sur la poursuite du développement de la production photocatalytique d'hydrogène et sur le gain d'efficacité dans l'électrolyse à haute pression et dans les technologies de stockage. A part cela, il faut renforcer l'application technologique dans des installations pilotes et de démonstration.

- Meilleure efficacité et durée de vie des cellules PEC pour la production photocatalytique d'hydrogène; technologie des réalisations à plus grande échelle ;
- Poursuite du développement de matériaux de stockage efficaces ;
- Electrolyse alcalique à haute pression ;

- Intégration de l'hydrogène dans des applications pilotes et de démonstration dans le domaine de la mobilité ;
- Combinaison de l'hydrogène et de techniques énergétiques renouvelables (stockage, questions de réseau).

Les objectifs techniques et économiques dans les domaines de la pile à combustible et de l'hydrogène s'appuient sur des conventions internationales à ce sujet, telles que l'initiative européenne H2-Mobility, les Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertakings, la feuille de route de l'agence japonaise de l'énergie NEDO ou l'Agence Internationale de l'Energie (Tableau 15).

### **Mise à profit des résultats**

Les résultats de la recherche dans le domaine de l'hydrogène servent à l'intégration de cette technologie dans l'économie énergétique actuelle. Mais ils englobent aussi de futures méthodes de production, de distribution et de stockage, et constituent ainsi un apport au développement global de ladite technologie, en collaboration étroite avec l'industrie suisse.

## **3.2.9 Pompes à chaleur et technique du froid**

En 2012, le programme de recherches change de nom. il s'intitule désormais Pompe à chaleur et technique du froid. Quant au couplage chaleur-force (CCF), il est rattaché à la combustion, thème apparenté

Le programme de recherches *Pompe à chaleur et technique du froid* vise le développement de systèmes modernes de chauffage et de refroidissement. Il est pos-

sible de réduire à brève échéance de 50 % les rejets de CO<sub>2</sub> dans le domaine du chauffage en utilisant le courant produit dans des installations chaleur-force pour alimenter des pompes à chaleur et produire ainsi de la chaleur utile à basse température. A plus long terme, le chauffage ne devrait plus impliquer le recours à des agents fossiles.

Dans la production de froid, les milieux concernés estiment que la consommation d'énergie peut être réduite de 25 %.

Ces objectifs seront atteints par l'adoption de composants plus efficaces et l'optimisation des systèmes intégrés. La réduction des coûts des composants et des installations, éventuellement associée au renchérissement de l'énergie primaire, garantira une rapide conquête des marchés.



## Etat de la recherche

La pompe à chaleur est aujourd'hui généralement admise comme système de chauffage. Elle est faite de plusieurs composants tels que l'échangeur de chaleur et le compresseur. La transformation de chaleur à basse température en chaleur utile à plus haute température est un cycle thermodynamique dont l'efficacité dépend des températures de la source de chaleur et du chauffage, respectivement. Les pompes à chaleur en vente aujourd'hui n'atteignent qu'environ 50 % du rendement possible théoriquement, et encore, l'exigence d'un rendement maximal entraîne des coûts plus élevés. Or il faut viser un niveau de 65 % à 70 % du rendement théorique.

Le rendement étant lié en tout premier lieu aux températures, il faut impérativement optimiser l'intégration de la pompe à chaleur dans le bâtiment. La source de chaleur doit avoir la température la plus élevée possible, et la chaleur utile requise dans le bâtiment, la température la plus basse possible. La qualité des composants a son importance également.

La température initiale de la terre, de l'eau souterraine ou d'un lac, voire de l'air ambiant est un paramètre donné, imposé par la nature. On peut envisager de l'accroître par le recours à un accumulateur de chaleur intermédiaire et en faisant appel, en plus, à l'énergie solaire, ce qui améliorera bien le rendement de la pompe à chaleur.

Les installations cryogènes sont de bonne qualité technique, et donc très fiables. Mais

là aussi, des améliorations sont possibles, même s'il ne faut pas négliger la rentabilité de l'installation et sa disponibilité.

## Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

En soutenant la poursuite du développement de la pompe à chaleur et de la technique du froid, la collectivité publique lance un signal politique en faveur de l'optimisation. Cependant, toute amélioration technique n'est pas compatible avec les contraintes politiques. Ainsi le choix du fluide de travail d'une installation cryogène et d'une pompe à chaleur a des retombées sur les gaz à effet de serre. L'aide financière publique accordée à la recherche profitera à des projets respectant les conditions politiques, et dont la faisabilité pourra ainsi être démontrée.

## Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération

La combinaison pompe à chaleur/ installation CCF recèle un important potentiel de réduction des rejets de CO<sub>2</sub> (point clé «Habitat et travail de demain»). Par ailleurs, la pompe à chaleur et les installations cryogènes sont des thèmes importants du point clé «Processus de demain».

## Thèmes de recherche 2013 – 2016

Dans le domaine de la pompe à chaleur et des techniques du froid, des progrès sont possibles surtout au plan du rendement des composants et des systèmes (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). On n'attend pas des systèmes fondamentalement nouveaux. Mais il importe de réduire les effets physiques dans les processus de transfert de chaleur, telles les frictions et les différences de températures de fonctionnement.

Pour la pompe à chaleur, il faut donc s'intéresser aussi à son intégration dans le bâtiment.

Enfin les effets sur le climat ne doivent pas être négligés: pompe à chaleur et machines cryogènes doivent utiliser des fluides de travail peu polluants.

## Objectifs spécifiques

- Améliorer les composants et les cycles thermodynamiques dans la pompe à chaleur pour le chauffage et la préparation d'eau sanitaire, ainsi que dans les installations cryogènes ;
- Accroître l'efficacité des installations cryogènes sans en réduire la disponibilité ;
- Optimiser les stratégies de réglage compte tenu des possibilités de stockage à court et moyen terme et de l'utilisation d'énergie solaire ;
- Optimiser globalement le système pompe à chaleur–CCF–énergie solaire–froid–stockage ;
- Modes d'évaluation et de calcul des coefficients annuels de rendement des systèmes comprenant des accumulateurs de chaleur et de froid à court et moyen terme ;
- Réduire les coûts de la pompe à chaleur et de l'installation cryogène ;
- Promouvoir le recours à des fluides de travail peu polluants dans la pompe à chaleur et dans l'installation cryogène.

	2011	2025	2050
Degré de qualité de la pompe à chaleur [%]	45	55	65
Coefficient de performance annuel constructions neuves [-]			
Pompe à chaleur air/eau	3,3	5,0	7,0
Pompe à chaleur eau glycolée/eau	4,5	6,0	8,0

Tableau 16 Quelques-uns des objectifs du programme Pompe à chaleur und technique du froid

Il faut améliorer les composants de la pompe à chaleur: des compresseurs et des échangeurs de chaleur de meilleure qualité accroîtront le rendement du système. On visera la mise au point de solutions différentes pour la production d'eau sanitaire et pour le chauffage des bâtiments. Celui-ci nécessite des compresseurs à faible taux de compression, qui engendrent le moins possible de surchauffe des gaz. La chaleur utile résulte de la condensation du fluide de travail. Dans la pompe à chaleur pour la préparation d'eau sanitaire, la chaleur doit être prélevée lors du refroidissement du fluide de travail comprimé au-delà du point critique. Tous les transferts de chaleur doivent avoir lieu à la plus faible différence de températures possible. On cherchera à tirer parti de l'expansion, surtout dans la pompe à chaleur pour eau potable.

### 3.2.10 Énergie éolienne

Actuellement, le programme de recherches de l'OFEN sur l'énergie éolienne distribue chaque année 0,5 million de francs pour soutenir des projets d'investigations méritants dans les Hautes Ecoles et dans l'industrie. Il vise essentiellement deux objectifs:

1. Développer des solutions innovantes pour les problèmes spécifiques que pose l'utilisation de l'énergie éolienne en Suisse. Il s'agit aussi bien de questions techniques (climat, turbulences, transport en site montagneux) que d'acceptation populaire.
2. Soutenir les sous-traitants suisses dans le développement de technologies innovatrices afin de leur permettre de mieux profiter du marché international de l'énergie éolienne, en pleine expansion. Axée sur l'exportation de machines et d'appareils électriques, la Suisse est bien placée pour renforcer sa position dans la mise en œuvre de cette technologie.

De par sa collaboration active à des projets de l'AIE, le programme de recherches s'in-

Il est important de disposer de fluides de travail peu ou pas polluants: pour le chauffage, on visera un *Global warming potential* (GWP) < 6, et pour la préparation d'eau chaude potable, l'optimum est le CO<sub>2</sub>, avec un GWP = 1.

Pour les installations cryogènes, on cherchera à optimiser – sans entamer la fiabilité – l'efficacité des composants, la répartition du froid, la stratégie de réglage et le fluide de travail. Dans les modèles à CO<sub>2</sub>, il faut tirer parti de l'énergie de décompression. On étudiera le recours à des accumulateurs de chaleur jour / nuit.

#### Mise à profit des résultats

Les résultats des investigations sont publiés dans des rapports intermédiaires, annuels et finaux, accessibles à chacun. Le pro-

crit dans l'échange international d'expériences.

#### Etat de la recherche

La recherche suisse s'est fait une réputation internationale en développant un revêtement antigel pour les pales de rotor et en installant à Gütsch (s. Andermat) le parc éolien le plus haut d'Europe.

Grâce à la participation active à l'AIE-Implementing Agreement on Wind Energy Research and Development, de précieux enseignements ont été recueillis et des solutions développées dans les travaux *Wind Energy in Cold Climates* et *Social Acceptance*.

#### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

La nouvelle stratégie énergétique du Conseil fédéral attribue aux énergies renouvelables une importance décisive dans la consolidation de la sécurité d'approvisionnement de la Suisse. L'énergie éolienne y occupe une place de choix, car la techno-

logie est au point et le potentiel dans le pays est encore largement inutilisé. Comme il existe désormais des installations spécialement conçues pour les sites éloignés de la mer, cette ressource peut être exploitée de manière efficace et relativement peu coûteuse même en Suisse.

Le rapport McKinsey «Wettbewerbsfaktor Energie. Chancen für die Schweizer Wirtschaft», qui date de 2009, estime à 2,1 milliards de francs le chiffre d'affaires dans le monde des entreprises suisses actives dans l'énergie éolienne, et il admet que ce montant pourrait croître à 11,2 milliards à l'horizon 2020. La part des sous-traitants suisses au marché devrait avoisiner les 10 %, de sorte qu'avec un volume de marché global de l'industrie éolienne estimé à 250 milliards à ce moment-là, les chances de croissance sont bonnes.

Le programme de recherches organise aussi le colloque annuel de l'OFEN sur la pompe à chaleur, qui est l'occasion de présenter les projets soutenus par l'office. Le programme est membre actif du Heat Pump Programme de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE-HPP).

Comme les projets occupent surtout les Hautes Ecoles spécialisées, le programme favorise également la relève universitaire et technique.

Des projets pilotes et de démonstration complètent la recherche et facilitent le démarrage commercial des résultats et des enseignements de la recherche.

Comme les projets occupent surtout les Hautes Ecoles spécialisées, le programme favorise également la relève universitaire et technique.

#### Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération

	2011	2025	2050
Durée d'élaboration / consensus			
Durée du projet [années]	5–10	2–4	2
Disponibilité / Rendement énergétique			
Disponibilité	96 %	98 %	>98 %
Heures à pleine charge [h/a]	1500	2000	2000
Coûts de production			
Coûts de production CH [Rp./kWh]	15–25	12–18	10–15
Coûts de production EU [Rp./kWh]	6–12	4–10	3–9

Tableau 17 Quelques-uns des objectifs du programme Énergie éolienne

En Europe, l'énergie éolienne couvre d'ores et déjà 5 % des besoins, et la tendance croît rapidement. Que le courant éolien soit exploité en Suisse ou en mer du Nord, ces perspectives offrent à notre pays des chances extraordinaires, mais elles posent aussi un défi majeur à la distribution d'électricité, du fait du caractère stochastique de la production. S'il est partiellement possible d'y répondre par l'énergie éolienne elle-même – amélioration des pronostics – cela interpelle néanmoins le système tout entier.

Avec ses équipements très visibles, l'énergie éolienne suscite des réactions parfois vives, surtout en période de rapide expansion. Pour la production sur terre ferme, l'acceptation par la population est considérée dans de nombreux pays comme un facteur déterminant du potentiel réalisable. Le programme de recherches *Énergie éolienne* fournira à ce sujet des enseignements très intéressants pour d'autres technologies encore et même, vu les conditions particulières de la Suisse (fédéralisme, démocratie directe) pour d'autres pays.

### Thèmes de recherche 2013 – 2016

Au cours de la période 2013–2016, les quatre thèmes ci-après seront à l'ordre du jour du programme de recherches.

*Développer dans l'industrie suisse des composants d'installations* pour exploiter l'énergie éolienne dans les conditions spécifiques du pays, p. ex. en réduisant les poids grâce à des matériaux nouveaux, en augmentant le rendement énergétique par faible vent et en faisant appel à la nanotechnologie pour éviter l'encrassement et le givrage.

*Accroître la disponibilité et le rendement énergétique* des installations éoliennes sur des sites extrêmes, en élaborant un savoir-faire pour l'implantation en terrain difficile, en faisant des tests sur des sites spéciaux, en analysant les fonctionnements et en formulant des recommandations.

*Accroître la « valeur » de l'énergie éolienne*, en optimiser l'intégration dans l'approvisionnement grâce à de meilleures prévisions, en réglant le réseau pour un apport important d'énergie éolienne et en adap-

tant les conditions d'injection pour les productions intermittentes.

*Accroître le consensus* en faveur de l'énergie éolienne en faisant appel à des spécialistes de la communication et de l'écologie, notamment pour déterminer les facteurs et stratégies de succès.

### Objectifs spécifiques

Trois objectifs techniques et économiques (Tableau 17) ont été fixés pour la période 2013–2016.

1. *Réduire la durée d'élaboration des plans*: ces retards sont un des facteurs de mécontentement dans la population. Il faut donc développer en Suisse un large savoir-faire, associant des compétences techniques à la connaissance des motivations publiques.

2. *Améliorer le rendement*: disponibilité et rendement énergétique sont d'ores et déjà assez bons, mais on peut en améliorer le niveau au moyen de produits de niche spéciaux à l'usage d'installations éoliennes en « climat froid » et sur des sites exposés aux turbulences.

3. *Abaisser les coûts de production*: Il faut réduire encore les coûts de production en Suisse. Cela passe par la mise au point de nouvelles méthodes de transport et de montage, qui répondent à la configuration du pays.

### Mise à profit des résultats

Les résultats de la recherche sur l'énergie éolienne peuvent être appliqués immédiatement. Le Conseil de Suisse Eole est en mesure de présenter les enseignements recueillis à toute la branche dans le pays, et il existe une collaboration directe avec l'industrie afin de promouvoir les exportations.

## 3.3 Énergie nucléaire

L'énergie nucléaire joue un rôle particulier dans le présent Plan directeur de la recherche énergétique notamment parce que l'OFEN ne sert que d'interlocuteur pour les

trois programmes de recherche Fusion nucléaire, Technique et sécurité nucléaire ainsi que Recherche réglementaire en sécurité nucléaire. La fixation des objectifs et

l'affectation des moyens financiers sont de la compétence de l'IFSN et du domaine des EPF. Seul le programme de recherche Déchets radioactifs relève de l'OFEN.

### 3.3.1 Fusion nucléaire

Le développement démographique et économique fait que les besoins d'énergie – et en particulier ceux d'électricité – augmentent dans le monde entier. Mais leur couverture ne doit négliger ni la sensibilité de la population, qui exige une sécurité d'exploitation élevée et refuse les déchets radi-

oactifs de longue durée de vie, ni les besoins de l'environnement, qui souffre des rejets de CO<sub>2</sub>. Dans la 2<sup>e</sup> moitié du 21<sup>e</sup> siècle, la fusion de noyaux d'hydrogène (deutérium et tritium) pourrait répondre à ces exigences et produire de l'énergie en

suffisance, le combustible nécessaire étant disponible en quantité quasi illimitée.

Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur le site Web du Centre de Recherches en Physique et Plasma (CRPP) : <http://crppwww.epfl.ch>.

### 3.3.2 Technique et sécurité nucléaire

Après le très grave accident de Fukushima, il faut redéfinir les options politiques et celles de la branche en Suisse. Cette mutation profonde est loin d'être achevée. La recherche sur l'énergie nucléaire en Suisse

n'est pas épargnée par les événements du Japon et elle doit continuellement adapter sa stratégie aux impératifs politiques.

Une description détaillée des activités et des projets de recherche au département

pour l'énergie nucléaire et la sûreté nucléaire du PSI sont disponibles sur le site <http://nes.web.psi.ch>.

### 3.3.3 Déchets radioactifs

Ce programme relève d'une volonté politique et il est la garantie d'une recherche indépendante en vue de la gestion des déchets radioactifs. Le contenu et les différents projets en sont fixés par le Groupe de travail de la Confédération pour la gestion des déchets nucléaires (Agneb). Celui-ci fournit des éléments de décision pour le processus politique devant aboutir au choix du site de stockage en profondeur, s'assurer du respect des exigences légales et comble les lacunes de la recherche sociologique touchant la gestion des déchets radioactifs. Le programme comprend des projets en sciences sociales et humaines ainsi que des recherches techniques et en sciences physiques et naturelles. Les premiers sont financés par l'OFEN, alors que

l'IFSN conduit les autres (cf. programme Recherche réglementaire en matière de sécurité, chap. suivant).

#### Etat de la recherche

Dans l'optique des sciences sociales et humaines, la recherche sur la gestion des déchets radioactifs en est à ses premiers balbutiements. Aussi bien dans le pays qu'à l'étranger, le sujet n'intéresse que des groupes restreints. A ce jour, nombre de projets ont porté sur la perception du risque et sur les questions de consensus. En revanche, on s'est peu consacré aux aspects éthiques ou politiques, aux questions de communication et à la perception des longues durées. Techniquement, il reste à

éclaircir des points isolés concernant par exemple le traitement des déchets ainsi que le dimensionnement et le monitoring d'un dépôt géologique en profondeur.

#### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

Sur la gestion des déchets radioactifs, bien des questions techniques ont trouvé réponse. Ce qui a manqué jusqu'ici, c'est un large débat sur ce sujet politiquement très sensible. Le programme de recherches livre aux autorités fédérales des éléments pratiques pour le déroulement politique du choix du site, assure le respect des exigences légales et comble les lacunes de la recherche sociologique. Son financement par



les pouvoirs publics garantit des résultats acquis en toute indépendance.

### **Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération**

Le programme s'inscrit dans le point clé «Systèmes énergétiques» du Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération. Dans le domaine de l'énergie nucléaire, la sécurité occupe la toute première place. Il n'en va pas autrement dans la gestion des déchets radioactifs. La sécurité étant considérée au plan global, on n'en étudiera pas seulement les aspects relevant des sciences naturelles, mais aussi les aspects sociologiques. Les deux approches sont essentielles pour le bon déroulement de la procédure de plan sectoriel dépôt géologique en profondeur et pour la réalisation des dépôts.

### **Thèmes de recherche 2013 – 2016**

Le programme de recherches englobe cinq point clés:

- A long terme: phase d'observation, maintien du savoir, méthodes de marquage ;
- Plan sectoriel Dépôts géologiques en profondeur: communication avec la population ;
- Perception, formation de l'opinion et consensus: des valeurs et des opinions ;
- Systèmes de stockage: gestion comparée des déchets, protection de l'environnement, dépôt pilote, systèmes de monitoring, fermeture rapide / autonome, récupération facilitée, spécification scientifique des matériaux, critères de sécurité pour longues durées, conséquences des incertitudes sur certains paramètres ;
- Ethique / droit: questions d'environnement, objectifs de protection, évolution de la société et gestion des déchets.

Le programme de recherches englobe aussi bien des questions relevant des sciences sociales et humaines que des problèmes techniques et de sciences naturelles. La procédure de sélection d'un dépôt géologique en profondeur se prolongera vraisemblablement jusqu'en 2020.

La recherche doit à la fois soutenir cette procédure (problèmes de communication et de formation de l'opinion), et contribuer à la mise en oeuvre des exigences de la loi (p. ex. marquage de dépôts géologiques en profondeur).

### **Mise à profit des résultats**

Les résultats des recherches sociologiques sont utiles dans la procédure en cours, visant à déterminer des sites de dépôts en profondeur. Quant aux enseignements relevant des sciences naturelles, ils servent directement à l'activité de surveillance de l'IFSN. L'inspection s'en inspire pour élaborer ses directives. En outre, elle s'appuie sur des résultats isolés pour prendre certaines décisions.

Pour les projets de recherches d'une certaine envergure, le transfert des résultats dans la pratique passe par des séminaires destinés aux intéressés. Ces mêmes résultats (concernant p.ex. la communication s'adressant à la population) font aussi l'objet d'une publication (brochure) à la formulation parfaitement accessible et au graphisme élaboré, envoyée aux milieux impliqués dans la procédure de choix du site. Enfin l'IFSN présente les résultats des projets conduits par elle dans son rapport annuel.

### **3.3.4 Recherche réglementaire en sécurité nucléaire**

Pour assumer ses tâches de surveillance des installations nucléaires, l'Inspection fédérale de sécurité nucléaire IFSN doit impérativement être au courant des avancées de la science et de la technique. C'est pourquoi elle soutient et coordonne des projets de recherche réglementaire en matière de sécurité. Ces projets contribuent

au maintien et à la consolidation du niveau élevé de sécurité des centrales nucléaires suisses. Grâce à eux, il est possible de reconnaître les problèmes éventuels, d'élaborer des améliorations, de réduire les incertitudes et d'améliorer les procédures. Chaque projet est suivi par un expert de l'IFSN. Ainsi les enseignements recueillis

passent dans l'action de l'inspection et servent directement les intérêts de la sécurité nucléaire.

Des informations complémentaires peuvent être trouvées sur le site web de l'ENSI [www.ensi.ch](http://www.ensi.ch).

## 3.4 Programmes transversaux

### 3.4.1 Énergie–économie–société

Le programme de recherche Énergie–économie–société (EES) porte sur la recherche appliquée en matière de politique énergétique. Ce programme très axé sur l'interdisciplinarité a recours à de nombreuses méthodes théoriques et empiriques allant de la microéconomie et de la macroéconomie à la sociologie et à la psychologie sociale en passant par la politologie. Réparti entre les deux domaines Recherche appliquée et Recherche pour la politique, il est doté d'une enveloppe totale de près de 1,5 MCHF. Dans la recherche appliquée, de nouvelles méthodes d'économie énergétique sont élaborées ou adaptées aux nouvelles problématiques puis appliquées en collaboration avec les hautes écoles alors que la recherche pour la politique analyse essentiellement les bases pour de nouveaux instruments de politique énergétique.

#### Etat de la recherche

La recherche énergétique socio-économique est active, innovante et bien établie à l'échelle internationale. Les compétences couvrent tous les domaines thématiques, un grand nombre de hautes écoles et d'autres centres de recherche sont impliqués et la promotion de la relève est assurée. Cependant, dans le cadre de la nouvelle politique énergétique, beaucoup de questions restées sans réponse devront faire l'objet de recherches ces prochaines années.

#### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

Ce programme de recherche porte sur les questions économiques, sociales et environnementales que posent la production, la distribution et l'utilisation d'énergie. Son objectif est de répondre à des besoins aussi divers que ceux de la sécurité d'approvi-

sionnement, de la justesse des prix et de la compatibilité avec l'environnement. En effet, les imperfections du marché de l'énergie obligent parfois l'Etat à intervenir pour assurer des résultats efficaces au niveau de toute l'économie. C'est dire si la recherche socio-économique qui fournit les fondements à la base de la politique énergétique est essentielle.

#### Contribution au plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération

Le plan directeur de la recherche énergétique confie les trois tâches suivantes à la recherche socio-économique. Premièrement, elle doit étudier le comportement humain et le fonctionnement des marchés pour chaque point clé du Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération (« Travail et habitat », « Mobilité », « Processus » et « Systèmes énergétiques »). Ces études serviront à mieux comprendre les motivations de chaque acteur et les effets d'instruments de politique énergétique spécifiques. Deuxièmement, la recherche socio-économique doit établir le lien qui existe entre les différentes priorités de la recherche et montrer les potentiels et les coûts relatifs. En effet, les différents points clés sont étroitement imbriqués tant au plan économique que social. Par conséquent, les pistes pour trouver des solutions efficaces à long terme doivent transcender les priorités. Troisièmement, la recherche socio-économique a pour tâche d'analyser, indépendamment des priorités fixées pour la recherche, les règles qui régissent la politique, l'économie et la société ainsi que leurs effets. La recherche qui sert à mieux comprendre le comportement des acteurs sur le marché et les interactions des différents marchés est indispensable. Les modèles macroéconomiques sont par exem-

ple un instrument de travail important pour évaluer les effets économiques de scénarios énergétiques possibles. Avec chacune de ces trois tâches, la recherche socio-économique peut grandement contribuer à parvenir à une vision de l'énergie. Des problématiques concrètes doivent permettre d'augmenter la compréhension en améliorant les modèles, la conception d'expériences, les méthodes d'évaluation et les bases des données.

#### Thèmes de recherche 2013 – 2016

Les prochaines modifications du système énergétique et ainsi de la société et de l'économie entraîneront des modifications structurelles et, par là, des bénéfices mais aussi des coûts pour l'économie et la société. Aussi est-il indispensable d'identifier les meilleurs instruments qui donneront les incitations voulues pour atteindre les objectifs fixés tout en maintenant les coûts pour l'économie suisse aussi bas que possible. C'est pourquoi le programme de recherche sera consacré pendant la période 2013–2016 aux quatre points clés suivants: (i) poursuite du développement de modèles macroéconomiques en mettant l'accent sur une meilleure modélisation du secteur énergétique et de l'étranger, (ii) élaboration des bases pour l'introduction de réseaux intelligents compte tenu de la deuxième étape de la libéralisation du marché de l'électricité, (iii) élaboration des bases pour l'intégration optimale de la hausse de la production d'origine renouvelable dans le mix énergétique de la Suisse (iv) meilleure compréhension des décisions relatives à l'énergie des consommateurs et des investisseurs.

L'objectif du programme de recherche est d'élaborer les fondements scientifiques pour étayer les différentes décisions qui

devront être prises prochainement en matière de politique énergétique. Il doit permettre de comparer les avantages et les inconvénients des différentes options.

### Mise à profit des résultats

Par ailleurs, le programme de recherche s'investit pour intensifier les échanges des chercheurs entre eux et pour pouvoir exploiter les complémentarités et les synergies. Il augmente également les connaissances spécifiques au domaine de l'énergie de la relève des chercheurs.

Une meilleure compréhension d'aspects économiques, sociaux, psychologiques et

politiques qui influencent le comportement individuel et, par conséquent, les marchés constitue la base de mesures efficaces. Les résultats de la recherche sont donc utiles non seulement à l'économie, à la politique, aux cantons et à l'économie énergétique mais aussi à diverses associations et organisations.

## 3.4.2 Projets pilotes et de démonstration

Comme les projets pilotes et de démonstration ne représentent ni des acquisitions de l'OFEN ni des projets de recherche et d'innovation au bénéfice de la loi sur l'encouragement de la recherche et de l'innovation (LERI), ils ne sont pas soumis à l'obligation de lancer un appel d'offres prévue par la loi sur les marchés publics ou par la LERI. Néanmoins, ils doivent respecter les dispositions de la loi sur les subventions.

Les **projets pilotes** servent à tester des systèmes techniques. Ils sont réalisés à une échelle permettant de déterminer des données scientifiques, techniques, économiques ou sociales qui ne peuvent pas être acquises en laboratoire. Quant aux **projets de démonstration**, ils servent à tester le marché. Ils sont réalisés à l'échelle 1:1 et permettent ainsi d'effectuer des évaluations détaillées aux niveaux technique, économique et social en vue de la commercialisation ou de la mise réelle sur le marché. Ils apportent des réponses aux questions qui se posent en matière d'entretien et de maintenance. Ils doivent attirer l'attention d'utilisateurs potentiels sur la nouvelle technologie, le nouveau produit, la nouvelle forme d'organisation ou le nouvel instrument.

La législation dispose que toute personne peut soumettre une requête de soutien pour un projet pilote et de démonstration (processus « bottom-up » de la base au sommet) et qu'aucune exigence thématique très restrictive ne doit être imposée. Toutefois, les projets doivent porter sur le

développement initial de nouvelles technologies, en particulier dans le domaine de l'utilisation économe et rationnelle de l'énergie ainsi que du recours aux énergies renouvelables.

Les critères suivants sont évalués lors de l'examen des requêtes soumises:

- la maturité technologique ;
- l'importance politique, notamment dans le contexte de la stratégie énergétique 2050 et du plan d'action « Recherche énergétique suisse coordonnée » (chapitre 4) ;
- le potentiel énergétique disponible en Suisse ;
- l'existence d'une industrie qui puisse mettre sur le marché les nouvelles technologies et solutions ;
- la rentabilité, soit le rapport prix/prestation ou encore les kWh produits ou économisés par franc investi ;
- la création de valeur en Suisse (estimation du potentiel) ;
- la faisabilité ou les chances que le potentiel énergétique puisse être réalisé d'ici 2050 ;
- le rayonnement ou la possibilité de communiquer sur le projet et l'attrait pour un public en particulier ou pour le public en général.

### Pourquoi la collectivité devrait encourager ces travaux

Les projets pilotes et de démonstration constituent un lien indispensable entre le laboratoire et le marché. Ils servent à l'évaluation et à la démonstration des technologies et des solutions envisagées à une échelle permettant d'obtenir des indications sur leur rentabilité, leurs applications possibles, leur efficacité et leur faisabilité technique. Dans le domaine énergétique, le secteur privé investit très peu dans ce maillon de la chaîne de création de valeur en raison de critères stricts de rendement. Le soutien apporté par les pouvoirs publics précisément à ce stade sensible du développement répartit le risque lié à l'investissement entre le secteur public et le secteur privé, qui prend ainsi plus facilement la décision d'investir.

### Mise à profit des résultats

La publication des résultats obtenus est un élément essentiel des projets pilotes et de démonstration. Par conséquent, chaque soumissionnaire d'un projet pilote et de démonstration est tenu d'informer le public de manière appropriée sur les résultats atteints sans toutefois communiquer d'éventuelles données confidentielles. Avec l'aide de Swisstopo, l'OFEN publie les principales caractéristiques des projets pilotes et de démonstration.

## 4 La recherche énergétique de l'OFEN dans le cadre de la Stratégie énergétique 2050

Suite aux événements survenus à Fukushima, le Conseil fédéral et le Parlement ont décidé en 2011 de sortir de l'énergie nucléaire. Dans le cadre de la nouvelle stratégie

énergétique 2050, un plan d'action « Recherche énergétique suisse coordonnée » (ci-après « plan d'action ») a été élaboré. Il doit permettre de renforcer la recherche

énergétique dans une sélection de domaines technologiques. Le plan d'action sera traité au Parlement au printemps/en été 2013.

### 4.1 Le plan d'action « Recherche énergétique suisse coordonnée »

Le plan d'action «Recherche énergétique suisse coordonnée» définit cinq champs d'action pour lesquels on a constaté la nécessité que les pouvoirs publics renforcent la recherche énergétique.

#### Champ d'action 1: Efficacité énergétique

Les nanomatériaux pour la technologie énergétique, les nouveaux concepts «Low CO<sub>2</sub>» visant à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans la technique du bâtiment, l'intégration des énergies renouvelables, les processus industriels sobres en énergie, les techniques de l'information et de la communication énergétiquement efficaces, le transport privé moins gourmand et les matériaux de construction légers sont par exemple des domaines qui requièrent une intensification des efforts de recherche.

#### Champ d'action 2: Réseaux, transport de l'électricité

Ce champ d'action se concentre sur les systèmes énergétiques complexes (modèles, scénarios et gestion), les nouveaux concepts urbains, l'électronique haute puissance pour réseaux intelligents et l'intégration de la production d'électricité fluctuante.

#### Champ d'action 3: Stockage de l'énergie

Ce champ d'action comprend le stockage de l'énergie aussi bien thermique qu'électrique, en particulier les batteries, l'électrolyse et l'électrochimie mais également les usines de pompes dynamiques. A long terme, la thermochimie solaire, l'utilisation et le stockage des rejets de chaleur, p. ex. par la thermoélectricité, constitueront des sujets de recherche.

#### Champ d'action 4: Mise à disposition de l'énergie

Ce champ d'action met l'accent sur la géothermie, l'énergie solaire (p. ex. techniques de fabrication de cellules en couches minces ou de combustibles solaires), la micro-hydraulique et la biomasse (combustibles biogènes, vecteurs énergétiques liquides, production décentralisée d'électricité, de chaleur et de froid).

#### Champ d'action 5: Aspects socio-économiques et juridiques

Ce champ d'action porte sur des domaines thématiques tels que l'économie et la politique énergétique, la gestion et l'économie

des ressources, la société et la politique publique.

#### Mesures découlant du plan d'action

Ce plan d'action propose les mesures ci-après en vue de soutenir la stratégie énergétique 2050 de la Confédération. A cette fin, il est demandé un budget supplémentaire de 202 MCHF pour la période 2013–2016:

- Développement des capacités pour les domaines de recherche prioritaires (création de 30 équipes de recherche et de 40 postes de «professeurs boursoyeurs FNS»);
- Optimisation des structures de la recherche énergétique (création de 7 centres de compétence);
- Mise à disposition de moyens compétitifs pour les projets.

Le Conseil fédéral a déjà décidé une série de programmes nationaux de recherche consacrés à l'énergie et le relèvement du plafond des montants alloués aux projets pilotes et de démonstration de 5 MCHF.

### 4.2 Conséquences sur la recherche énergétique de l'OFEN

La recherche énergétique de l'OFEN doit soutenir cette orientation sans toutefois délaissier les tâches actuelles de l'OFEN, notamment le positionnement stratégique de l'OFEN couvrant l'ensemble de l'éventail

de la recherche énergétique, la relation étroite de l'OFEN avec les principaux acteurs de la recherche énergétique au plan national et l'assurance de l'intégration internationale de la recherche énergétique

suisse dans les programmes de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et de l'UE (plan stratégique européen pour les technologies énergétiques dit plan SET et les programmes-cadres de recherche).



## Les programmes de recherche soutiennent le plan d'action

La plupart des programmes de recherche menés par l'OFEN soutiennent déjà directement ou indirectement le plan d'action. L'énergie nucléaire constitue une exception. En effet, seul le programme de recherche Déchets radioactifs dispose de (faibles) moyens financiers attribués par l'OFEN. Comme ce programme de recherche fournit des bases essentielles au processus politique accompagnant la procédure de sélection de sites pour dépôts géologiques en couches profondes, il n'est pas concerné par l'alignement de la recherche sectorielle de l'OFEN sur le plan d'action.

La recherche dans les domaines de la fusion nucléaire, de la fission et de la recherche réglementaire en sécurité nucléaire continue à être encouragée par le Domaine des EPF et par l'IFSN.

## Les structures qui ont fait leurs preuves sont conservées

La structure mise en place au fil des décennies par l'OFEN avec une direction interne ou externe pour chaque programme de recherche a fait ses preuves et garantit une mise en réseau optimale des programmes de recherche de l'OFEN avec l'industrie et les communautés nationales et internationales de chercheurs ainsi qu'avec d'autres institutions de recherche. Elle permet ainsi, de manière simple, d'exploiter

les synergies et d'éviter les développements parallèles.

Avec le plan d'action, cette structure organisationnelle gagnera encore en importance. En effet, la création d'équipes de recherche et de centres de compétence supplémentaires (chapitre 4.1) augmentera encore le besoin de coordination. Par conséquent, cette structure doit être conservée, et ce d'autant plus qu'elle permet à l'OFEN d'avoir aussi un accès direct à un grand nombre de spécialistes réputés.

## L'intégration internationale reste assurée

Une des tâches essentielles de l'OFEN est d'assurer la participation de chercheurs suisses aux programmes de recherche de l'AIE et de l'UE. Les chercheurs sont souvent à la recherche de bailleurs de fonds, en particulier pour les activités de l'AIE (accords d'exécution dits Implementing Agreements, chapitre 6.5.1). Les programmes de recherche de l'OFEN peuvent alors fournir des contributions importantes. Par ailleurs, les différents programmes de recherche de l'OFEN apportent les contributions de base pour la participation de la Suisse aux accords d'exécution.

## Les projets pilotes et de démonstration sont alignés sur le plan d'action

Pour 2013, le Conseil fédéral a accordé 5 MCHF en sus en relevant le plafond pour

les projets pilotes et de démonstration. Ces fonds seront affectés au plan d'action. Les fonds disponibles jusqu'à présent (près de 4,8 MCHF) continueront par contre à être réservés aux demandes émanant de la base (logique « bottom-up »). On assure ainsi qu'aussi à l'avenir, des projets couvrant un large éventail de recherche puissent être soutenus. En outre, les bases légales disposent que des requêtes de projets ne peuvent pas être refusées en raison de restrictions concernant les sujets de recherche.

L'OFEN a dorénavant regroupé les projets pilotes et de démonstration dans un nouveau programme propre. Pour les fonds supplémentaires, il a identifié les six pôles suivants (clusters) qui se prêtent à des projets pilotes et de démonstration, d'une part, et qui couvrent les priorités définies par le plan d'action, d'autre part:

- Smart Energy Supply (approvisionnement énergétique intelligent) ;
- Smart Energy Networks (réseaux énergétiques intelligents) ;
- Smart Equipment (équipements intelligents) ;
- Smart Processes (processus intelligents) ;
- Smart Cities and Regions (villes et régions intelligentes) ;
- Smart Energy Policies and Regulation (politiques et réglementation énergétiques intelligentes).

## 5 Financement pour la période 2013–2016

Pour planifier le budget des années 2013–2016, l'OFEN admet que la situation ne change pas beaucoup par rapport à 2012 (renchérissement: 1,5 %). Il prend déjà en considération l'augmentation des moyens alloués aux projets pilotes et de démonstration de 5 MCHF pour 2013 décidée par le Conseil fédéral en avril 2012.

### Moyens prévus pour 2013–2016

Le Tableau 18 précise les crédits de recherche prévus par l'OFEN pour la période 2013–2016. Les chiffres indiqués sont des estimations et non des moyens financiers engagés. Pour les années 2014–2016, le

budget devra chaque fois être approuvé par les Chambres fédérales.

Au sein des groupes *Utilisation efficace de l'énergie* et *Énergie renouvelable*, la répartition se fait comme en 2011/2012, en maintenant autant que possible constants sur les prochaines années les budgets des différents programmes de recherche.

	2013	2014	2015	2016
Projets pilotes et de démonstration	9 756 800	9 934 700	10 008 700	10 083 800
Projets de recherche				
Utilisation efficace de l'énergie	8 680 000	8 750 000	8 750 000	9 000 000
Énergie renouvelable	7 680 000	7 750 000	7 750 000	8 000 000
Énergie nucléaire	375 000	395 000	395 000	100 000 <sup>1</sup>
Énergie–économie–société	1 500 000	1 520 000	1 530 000	1 600 000
Coordination de la recherche	605 300	675 300	670 300	688 900
Montants attribués à l'IFSN <sup>1</sup>	2 163 500	1 994 500	1 994 500	2 027 000
Transfert de savoir et de technologie <sup>2</sup>	400 000	400 000	400 000	400 000
<b>Total</b>	<b>31 160 600</b>	<b>31 419 500</b>	<b>31 498 500</b>	<b>31 899 700</b>

Tableau 18 Budgets prévus par l'OFEN pour la période 2013–2016. Ces chiffres ont été établis sur la base du budget de la Confédération 2013 et du plan financier de la législature 2014–2016. Pour les années 2014–2016, le budget devra chaque fois être approuvé par les Chambres fédérales.

<sup>1</sup> À partir de 2016, les projets de recherche actifs dans le domaine de la fusion seront financés par le SEFRI.

<sup>2</sup> En raison d'une réorganisation interne, le Transfert de savoir et de technologie TST n'est plus chapeauté par la section Recherche scientifique, mais par le Point de contact Cleantech, rattaché à la division Affaires de la direction. Par souci d'exhaustivité, le budget correspondant reste classé sous « Recherche énergétique ».

## 6 Acteurs et interfaces

### 6.1 Principaux acteurs

En 2010, l'OFEN a dressé la liste des compétences des Écoles polytechniques fédérales, des Universités et des Hautes Écoles spécialisées (HES) de Suisse et a recensé près de 200 groupes actifs dans le domaine de la recherche énergétique.

L'importance que ces différents groupes revêtent pour l'OFEN peut être déduite des dépenses engagées (Figure 5). Au niveau des institutions universitaire de recherche, le PSI vient en tête avec environ 5,5 MCHF (2009). Les HES reçoivent juste 4,9 MCHF et, au troisième rang, l'EPF de Zürich pas tout à fait 3 MCHF. En raison de l'orientation pratique des recherches, les Universités – services cantonaux mis à part – touchent ensemble le même montant que l'EMPA (soit 1,7 MCHF). Un tiers des moyens financiers<sup>iv</sup> engagés par l'OFEN va à l'industrie privée, dont près de la moitié pour des projets pilotes et de démonstration.

Par l'intermédiaire des chefs des différents programmes de recherche énergétique, l'OFEN est en contact étroit tant avec les principaux acteurs des Hautes Écoles qu'avec ceux de l'industrie et des services publics.

#### Contacts avec les Hautes Écoles

Pour l'essentiel, les contacts entre les programmes de recherche de l'OFEN et les instituts des Hautes Écoles sont établis et se font en général directement entre les chefs de programmes et les responsables de domaines de l'OFEN et les chercheurs.

En même temps, la recherche énergétique de l'OFEN est aussi en contact direct avec les Hautes Écoles, par le biais de représentations dans des instances dirigeantes, comme l'*Energy Science Center* de l'EPF de Zurich, la Commission de recherche

ENE et le *Competence Center Energy and Mobility* CCEM (les deux derniers dépendant du PSI).

En outre, des représentants de la recherche énergétique de l'OFEN collaborent avec des professeurs des Hautes Écoles suisses dans le cadre de diverses commissions, comme la CORE, la CTI ou d'autres organismes de caractère privé.

#### Contacts avec les acteurs privés

Les contacts pris dans le cadre des organisations privées touchent aussi bien de grandes entreprises, qui développent des activités de recherche propres, comme ABB, Alstom, Wartsilä ou IBM, que de nombreuses PME pionnières, comme le Groupe Meyer Burger, Oerlikon Solar, Awtec, ou des *start-ups* et des bureaux d'ingénieurs. En outre, des coopérations sont établies avec des partenaires qui représentent un fort potentiel de développement, comme La Poste, les CFF, et les entreprises électriques, par exemple, Axpo, BKW/FMB ou des services industriels. Au plan géographique, les programmes de recherche énergétique de l'OFEN touchent toute la Suisse.

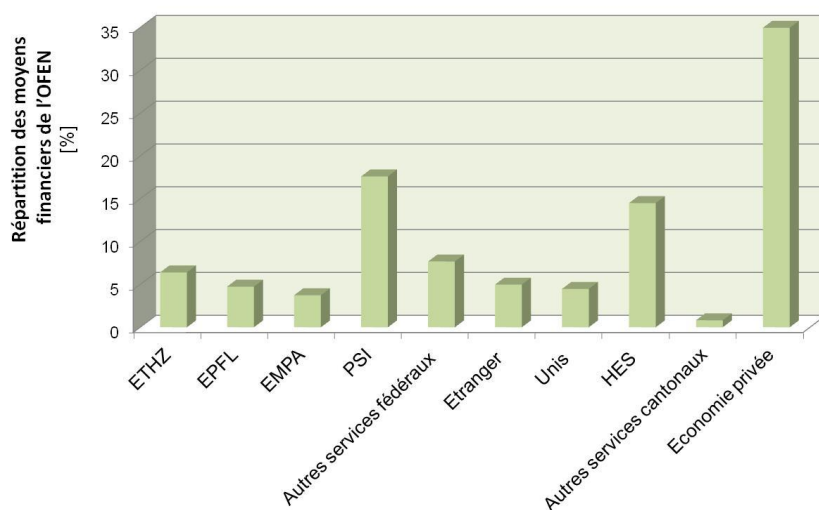


Figure 5 Répartition des moyens financiers utilisés par l'OFEN (moyennes pour la période 2007-2009)

## 6.2 Interfaces avec le Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS)

Le thème de l'énergie est sous-représenté dans le cadre de la mise au concours des Programmes nationaux de recherche (PNR) et des Pôles de recherche nationaux (PRN).

Suite aux événements de 2011 au Japon (Fukushima), le Conseil fédéral a décidé en juin 2011 de consacrer le cycle de sélection 2011/2012 exclusivement au thème de l'énergie.

Le FNS a été chargé de lancer un appel d'offres pour un PNR sur le thème de la « transition énergétique » (37 MCHF) et un autre sur le « pilotage de la transition énergétique » (8 MCHF).

### 6.2.1 Programmes nationaux de recherche (PNR) achevés et en cours

L'instrument « PNR » a été mis en place par le Conseil fédéral en 1975. Depuis lors, de nombreux PNR ont été lancés et achevés. Le site du Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS) : [www.snf.ch](http://www.snf.ch) en fournit la liste.

#### PNR achevés

Certains des 53 PNR déjà achevés sont (plus ou moins) en relation avec l'énergie, soit :

- PNR 4 « Recherche et développement dans le domaine de l'énergie » (achevé en 1984, avec 9,5 MCHF) ;

- PNR 4+ « Énergie : recherche socio-économique dans le domaine de la consommation » (achevé en 1986, avec 5 MCHF) ;
- PNR 7 « Matières premières et matériaux » (achevé en 1986, avec 14,5 MCHF) ;
- PNR 12 « Le bois, source d'énergie et matière première renouvelable » (achevé en 1991, avec 11 MCHF) ;
- PNR 20 « Exploration du soubassement géologique de la Suisse » (achevé en 1993, avec 14,5 MCHF) ;
- PNR 30 « Supraconductivité à haute température » (achevé en 1995, avec 15 MCHF).

#### PNR en cours

Trois des 14 PNR en cours ont un rapport avec l'énergie, soit :

- PNR 54 « Développement durable de l'environnement construit » (avec 13 MCHF; module Matériaux et énergie) ;
- PNR 62 « Chances et risques des nanomatériaux » (avec 11 MCHF) ;
- PNR 66 « Ressource bois » (avec 18 MCHF, un module sur le thème de l'énergie).

### 6.2.2 Pôles de recherche nationaux (PRN) achevés et en cours

Créé en 2001, le système comprend aujourd'hui 27 PRN. Un seul d'entre eux a une relation avec l'énergie, le PRN « MANEP – Matériaux avec propriétés électroniques exceptionnelles » (période 2001–

2013, apport du FNS : 50 MCHF). Il étudie les matériaux à propriétés particulières (composés magnétiques, ferroélectriques et supraconducteurs), qui possèdent un potentiel d'application, par exemple, dans

la production et la distribution d'énergie. Des données recueillies dans le cadre du PRN « Climat » sont en outre utilisées dans le domaine *Énergie renouvelable*.

## 6.3 Interfaces avec la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI)

La CTI soutient les projets novateurs dans toutes les disciplines scientifiques. Elle applique alors le principe *bottom-up*, soit une approche ascendante avec laquelle en principe tous les thèmes de recherche sont possibles, à condition de respecter les critères de soutien fixés par la CTI. Les projets individuels présentés sont répartis dans les quatre domaines d'encourage-

ment *Life Sciences*, *Micro- et nanotechnologies*, *Enabling Sciences* et *Sciences de l'ingénieur*. Les projets en relation avec l'énergie sont traités dans le cadre du domaine d'encouragement *Sciences de l'ingénieur*, où l'OFEN et l'OFEV sont représentés de droit. Les projets de la CTI, de l'OFEV et de l'OFEN peuvent ainsi être coordonnés de manière optimale. Tous les

projets en relation avec l'énergie sont évalués et commentés par les responsables de domaine de l'OFEN avant les séances consacrées au domaine *Sciences de l'ingénieur*.

L'évaluation effectuée par la CTI montre que 33 projets ont été adoptés en 2011 dans le domaine de l'énergie, pour un montant de 9.9 MCHF, versé par la CTI.



## 6.4 Interfaces avec les offices fédéraux et d'autres services fédéraux

Comme cela apparaît plus bas, l'OFEV est l'office fédéral le plus concerné par les programmes de recherche de l'OFEN. Pour chaque office, respectivement pour chaque service fédéral, le résumé indique les programmes de l'OFEN (en gras), y compris le Transfert de savoir et de technologie (TST), avec les thèmes correspondants. En règle générale, les programmes de recherche de l'OFEN sont relativement bien coordonnés avec les autres services fédéraux (Tableau 19). Les interfaces correspondantes sont présentées ci-après de manière détaillée.

### Interfaces avec l'AFD

- Biomasse et énergie du bois : groupe de travail interdépartemental Biomasse ;
- Énergie–économie–société : transports ;

### Interfaces avec l'ARE

- Biomasse et énergie du bois : Groupe de travail interdépartemental Biomasse ;
- Énergie–économie–société : transports ;
- Géothermie : sous-sol et développement territorial ;
- Centrales à gaz 2020 & CCS : sous-sol et développement territorial ;
- Conflits liés à l'utilisation du sous-sol ;
- Transports : transports durables ; réduction du trafic ;
- Énergie éolienne : recommandation pour la planification d'installations éoliennes.

### Interface avec la CGD

- Déchets radioactifs : représentation dans le groupe d'accompagnement du programme de recherche Déchets radioactifs ; AGNEB.

### Interfaces avec la CSN

- Déchets radioactifs : comparaison entre la gestion des déchets radioactifs et celle des déchets non-radioactifs ;
- Recherche réglementaire : comparaison entre la gestion des déchets radioactifs et des déchets non-radioactifs.

### Interfaces avec la DDC

- Photovoltaïque : plate-forme REPIC ;
- Combustion : émissions de nanoparticules par les systèmes de combustion ;
- Transfert de savoir et de technologie : plate-forme REPIC.

### Interfaces avec l'IFSN

- Déchets radioactifs : représentation dans le groupe d'accompagnement du programme de recherche Déchets radioactifs ; AGNEB ; dépôt de déchets radioactifs en couches géologiques profondes.

### Interfaces avec METAS

- Technologies et utilisations de l'électricité : qualité des adaptateurs pour lampes ; échanges réguliers entre METAS et le programme de recherche Technologies et utilisations de l'électricité ;
- Réseaux : représentation de METAS dans le groupe d'accompagnement du programme de recherche Réseaux de l'OFEN ; recherche métrologique dans le domaine de l'électricité ; smart grids ; échanges réguliers entre METAS et le programme de recherche Réseau ;
- Recherche réglementaire : radioprotection ; calibrage et étalonnage des instruments de mesure des rayonnements ;
- Combustion : émissions de nanoparticules par les systèmes de combustion.

Domaine d'action	Collaboration 2008–2011	Représentation dans groupes d'accompagnement et de travail
1 Santé (OFSP)	x	x
2 Sécurité sociale (OFAS)		
3 Environnement (OFEV)	x	x
4 Agriculture (OFAG)	x	x
5 Énergie (OFEN)	–	–
6 Développement territorial durable et mobilité (ARE)	x	x
7 Développement et coopération (DDC)	x	x
8 Sécurité et politique de paix (DDPS)	x	x
9 Formation professionnelle (SEFRI)	x	
10 Sport et activité physique (OFSPPO)		
11 Transports durables (OFROU)	x	x

Tableau 19 Coordination entre l'OFEN et les divers domaines politiques

### Interfaces avec MétéoSuisse

- Bâtiments : Opticontrol – Use of Weather and Occupancy Forecasts for Optimal Building Climate Control (utilisation des prévisions météorologiques pour régler le chauffage des bâtiments) ;
- Chaleur solaire : gestion des données du rayonnement solaire (travaux réalisés dans le cadre de l'AIE / SHC Task 36) ;
- Énergie éolienne : données et prévisions climatiques et météorologiques.

### Interfaces avec l'OFAC

- Énergie éolienne : sécurité des radars aéroportés.

### Interfaces avec l'OFAG

- Biomasse et énergie du bois : groupe de coordination Écobilans ; séchage d'herbe et de maïs ; groupe de travail interdépartemental Biomasse ; représentation dans l'accompagnement de projets.

### Interfaces avec l'OFCOM

- Réseaux : smart metering, techniques d'information et de communication TIC et développement durable.

### Interfaces avec l'OFEV

- Accumulateurs : éco-compatibilité ; recyclage des accumulateurs ;
- Biomasse et énergie du bois : compost et digestat ; chaudières à bûches de bois ; chauffages aux granulés de bois pour réduire les émissions ; écobilans ; représentation dans des groupes d'accompagnement et des groupes de coordination ;
- Piles à combustible : récupération de phosphates dans les boues d'épuration ;
- Énergie-économie-société : émissions de CO<sub>2</sub> des bâtiments et des transports ;

- Bâtiments : Swisswoodhouse – Idée d'un bâtiment durable construit en bois ;
- Géothermie : délimitation des intérêts entre énergie et protection de l'environnement ;
- Solaire industriel à haute température : émissions, compensation et réduction dans les entreprises, par production de chaleur solaire à haute température ;
- Centrales à gaz 2020 & CCS: potentiel de stockage du CO<sub>2</sub> en Suisse ; stockage du CO<sub>2</sub> ; réglementation pour CCS ;
- Photovoltaïque : plate-forme REPIC ;
- Déchets radioactifs : comparaison entre la gestion des déchets radioactifs et celle des déchets non-radioactifs ;
- Recherche réglementaire : comparaison entre la gestion des déchets radioactifs et celle des déchets non-radioactifs ;
- Combustion : influence de la part des biocarburants dans l'alimentation de gros moteurs diesel sur les systèmes de traitement des gaz brûlés (filtres à particules, catalyseurs) ; émissions de particules fines ; recherche sur la combustion ;
- Technologie des procédés : flux de matières ; déchets des procédés industriels ;
- Transports : mobilité en général ; bruit ; problème des particules fines ;
- Force hydraulique : petite hydraulique ;
- Énergie éolienne : migration des oiseaux, chauve-souris, paysage ; effets des installations éoliennes sur les voisins (bruit) ;
- Transfert de savoir et de technologie : eco-net ; plate-forme REPIC.

### Interfaces avec l'OFROU

- Accumulateurs : représentation de l'OFEN dans les projets de recherche Trafic de marchandises et Mobilité électrique, avec participation financière de l'OFEN au projet Trafic de marchandises ;
- Technologies et utilisations de l'électricité : éclairage des tunnels ;
- Énergie-économie-société : transports ;

- Réseaux : représentation de l'OFEN dans le groupe d'accompagnement Systèmes de navigation par satellites de l'OFROU ;
- Transports : trafic de marchandises ; mobilité électrique.

### Interfaces avec l'OFSP

- Énergie-économie-société : collaboration projetée.

### Interfaces avec l'OFSP

- Technologies et utilisations de l'électricité : électrosmog des lampes à économie d'énergie ;
- Déchets radioactifs : comparaison entre la gestion des déchets radioactifs et celle des déchets non-radioactifs ;
- Recherche réglementaire : comparaison entre la gestion des déchets radioactifs et celle des déchets non-radioactifs.

### Interfaces avec l'OFT

- Piles à combustible, Hydrogène : utilisation de piles à combustible dans le domaine de la mobilité ;
- Énergie-économie-société : transports en général ;
- Transports : transports publics.

### Interfaces avec la RFA

- Biomasse et Énergie du bois : groupe de travail interdépartemental Biomasse.

### Interfaces avec le SAS

- Recherche réglementaire : radioprotection ; calibrage et étalonnage des instruments de mesure des rayonnements.

### Interfaces avec le Seco

- Biomasse et énergie du bois : groupe de travail interdépartemental Biomasse ; groupe de coordination Ecobilans ;
- Énergie–économie–société : échanges informels ;
- Photovoltaïque : plate-forme REPIC ;
- Transfert de savoir et de technologie : plate-forme REPIC.

### Interfaces avec le SED

- Géothermie : aspects liés aux risques de la géothermie profonde.

### Interfaces avec le SEFRI

- Fusion nucléaire : travaux dans le cadre d'Euratom ;
- Coordination : programmes-cadres de recherche de l'UE ;
- Énergie–économie–société : Cleantech.

### Interfaces avec Swisstopo

- Géothermie : données concernant le sous-sol ;
- Centrales à gaz 2020 & CCS : collaboration dans le cadre du groupe IDA Géologie ; recensement des données du sous-sol, pour ce qui concerne le stockage du CO<sub>2</sub> ;

- Déchets radioactifs : représentation dans le groupe d'accompagnement du programme de recherche Déchets radioactifs de l'OFEN ; AGNEB ; dépôt de déchets radioactifs en couches géologiques profondes (Mont Terri) ;
- Recherche réglementaire : représentation dans le groupe d'accompagnement du programme Déchets radioactifs de l'OFEN ; AGNEB ; dépôt de déchets radioactifs en couches géologiques profondes (Mont Terri).

## 6.5 Collaboration internationale

L'OFEN est représenté dans tous les organes de l'AIE et de l'UE en charge de la recherche énergétique. Dans le cadre de l'UE, les principales activités sont mises au concours pour les Programmes-cadres de recherche et de développement technologique PCRD et les initiatives industrielles européennes lancées avec le *SET Plan*, de

sorte que l'OFEN ne peut intervenir que lors de la définition des thèmes à adjudger. Dans le cadre de l'AIE, en revanche, le choix des projets de recherche se fait sur la base d'accords d'exécution, dits *Implementing Agreements* (chapitre 6.5.1), qui permettent aux représentants suisses d'in-

fluencer le choix des thèmes et celui des exécutants.

D'autres instances internationales importantes pour la recherche énergétique de l'OFEN sont mentionnées ci-dessous.

### 6.5.1 Agence internationale de l'énergie (AIE)

L'OFEN siège dans toutes les instances de direction dont relève la recherche énergétique de l'AIE, à commencer par le Governing Board, en passant par le Committee on Energy Research and Technology (CERT), puis les divers Working Parties : Working Party on Fossil Fuels (WPF), Renewable Energy Technologies Working Party (REW), End-Use Technologies Working Party (EUWP), ainsi que le Fusion Power Co-ordinating Committee (FPCC). L'OFEN est, en outre, représenté dans les groupes d'experts : Expert Group on R&D Priority Setting and Evaluation (EGR & DPS&E) et Expert Group on Science for Energy (EGSE).

Les projets de recherche proprement dits sont réalisés dans le cadre des accords d'exécution, dits *Implementing Agreements*, de l'AIE. Sur un total de 42 accords existants, l'OFEN participe aux 20 accords suivants :

- Advanced Fuel Cells (AFC) ;
- Advanced Motor Fuels (AMF) ;
- Bioenergy (BIO) ;
- Demand Side Management (DSM) ;
- Efficient Electrical End-Use Equipment (4E) ;
- Energy Conservation & Emissions Reduction in Combustion (EC&ERC) ;

- Energy Conservation in Buildings & Community Systems (ECBCS ; Chair) ;
- Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP) ;
- Fusion Materials ;
- Geothermal Energy Research & Technology (GEOR&T) ;
- Greenhouse Gases Derived from Fossil Fuel Use (GGFFU) ;
- Heat Pumping Technologies (HPP) ;
- High-Temperature Super Conductivity on the Electric Power Sector (HTSC ; Vice-chair) ;
- Hybrid & Electric Vehicles Technologies (HEV ; Chair) ;

- International Smart Grid Action Network (ISGAN) ;
- Photovoltaic Power Systems (PVPS ; Chair) ;
- Production and Utilization of Hydrogen (H2) ;
- Solar Heating & Cooling Systems (SHC) ;
- Solar-PACES ;
- Wind Energy Systems (WES).

Pour quatre d'entre eux, l'OFEN finance la présidence (*Chair*) ou la vice-présidence (*Vice-chair*), constituées de représentants suisses.

## 6.5.2 Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN)

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire AEN est le principal partenaire international de l'IFSN dans le domaine de la recherche en matière de sûreté nucléaire. Les États membres de l'AEN représentent

plus de 80 % de la capacité mondiale de production d'électricité d'origine nucléaire. Basée à Paris, l'AEN soutient les pays membres pour le développement des bases techniques, scientifiques et juridiques.

L'IFSN est représentée dans une quarantaine d'instances de l'AEN, en particulier dans toutes celles qui traitent de la recherche en matière de sûreté nucléaire.

## 6.5.3 UE : comités consultatifs

La collaboration de l'OFEN avec l'UE se fait surtout au niveau de l'*Energy Programme Committee* (gérant la partie concernant la recherche énergétique des Programmes-cadres de recherche et de développement technologique PCRDT) et du *Steering Group for Strategic Energy Tech-*

*nologies* pilotant le *Strategic Energy Technology Plan (SET Plan)*.

L'OFEN partage son siège avec le SEFRI au sein de l'*Energy Programme Committee* et est soutenu par la Mission Suisse auprès de l'UE à Bruxelles pour ce qui touche au *SET Plan*. Au niveau de ce dernier, sept

initiatives industrielles (*European Industrial Initiatives*) ont déjà été lancées ; l'OFEN, ou le SEFRI, pour la technique nucléaire, sont représentés dans leurs instances de direction.

## 6.5.4 UE : réseaux ERA-NET, plateformes technologiques ETP

### European Research Area Networks (ERA-NETs)

Le système de réseaux *ERA-NET* vise à coordonner entre eux les programmes de recherche nationaux et régionaux et à fortifier l'espace européen de la recherche, ainsi que certaines branches industrielles européennes. Les réseaux *ERA-NET* lancent des appels à proposition conjoints. Les partenaires associés aux projets sont financés suivant les critères nationaux définis par les États et régions membres. La Commission européenne participe aux dépenses pour la direction du système de réseaux *ERA-NET*. L'OFEN est impliqué dans les réseaux *ERA-NET* suivants :

- PV-ERA-NET ;
- ERA-NET ROAD ;

- ERA-NET TRANSPORT (représentation suisse : OFROU) ;
- Smart Grids ERA-NET ;
- ERA-NET for Construction and Operation of Buildings (Eracobuild) ;
- Geothermal ERA-NET.

### European Technology Platform (ETP)

Les plateformes technologiques ETP doivent favoriser la mobilisation des ressources au niveau européen, dans les domaines de la recherche, du développement technologique et de l'innovation, et rassembler les principaux acteurs de chaque domaine de recherche (industries / PME, administrations, sciences et utilisateurs finaux). L'initiative vient ici de l'industrie. Il s'agit, en priorité, de définir et de décrire un

*Strategic Research Agenda (SRA)* pour l'évaluation du développement technologique, à moyen et à long termes, et d'établir un partenariat public-privé (*Public Private Partnership PPP*) pour sa mise en œuvre. L'OFEN participe aux plateformes ETP suivantes :

- Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP) ;
- Biofuels ;
- Photovoltaic (EUPV).

L'OFEN est en outre représenté auprès d'autres instances internationales, comme le *Joint Undertaking Fuel Cells and Hydrogen (FCH)* ou l'*European Rail Research Advisory Council (ERRAC)*.



### 6.5.5 REPIC

REPIC (*Renewable Energy & Energy Efficiency Promotion in International Cooperation*) est un projet commun à quatre services fédéraux (SECO, DDC, OFEV et OFEN). La plateforme REPIC doit favoriser l'instauration d'une politique et d'une stratégie cohérentes au niveau suisse, en vue d'encourager le recours à l'énergie renouvelable et à l'utilisation efficace de l'énergie dans la coopération internationale. Elle

contribue à la mise en œuvre des accords globaux dans le domaine de la protection du climat et encourage un approvisionnement énergétique durable dans les pays en développement et en transition, au même titre qu'en Suisse ; elle représente de ce fait un instrument important pour la mise en œuvre de la politique suisse en matière de développement durable au niveau international.

La plateforme est accompagnée d'un groupe de pilotage formé par les quatre services fédéraux. Il émet des recommandations à l'attention des différents services fédéraux et assure ainsi la direction opérationnelle de la plateforme. L'OFEN est d'autant plus proche de REPIC que le bureau de la plateforme est dirigé par le responsable de son programme de recherche *Photovoltaïque*.

### 6.5.6 Smart-Grids D-A-CH

Pour compléter ses activités internationales dans le domaine des « Smart Grids », la Suisse a signé avec l'Allemagne et l'Autriche le « Memorandum of Understanding (MoU) zur Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Erforschung und Entwicklung von IKT-basierten Energiesystemen der Zukunft in Deutschland, Österreich und der Schweiz », en date du 27 novembre 2009 à Berlin.

Cette déclaration d'intention sur la recherche et le développement en matière de

futurs systèmes énergétiques basés sur les technologies d'information et de communication (TIC) permet de renforcer la collaboration pour développer des produits, des procédés et des services basés sur les TIC en vue de garantir grâce à eux un approvisionnement en électricité durable et sûr à long terme.

Des échanges d'informations et de connaissances, ainsi qu'une harmonisation des mesures politiques d'encouragement sont prévus.

L'accord D-A-CH permet de lancer des projets concrets, de les financer et de les réaliser en commun. Un projet de recherche de ce type a déjà été lancé entre l'Autriche et la Suisse. La coopération D-A-CH prend en ce moment une importance croissante avec le développement des initiatives européennes du SET Plan, en particulier dans les domaines « Réseaux » et « Smart Cities ».

### 6.5.7 International Partnership for Geothermal Technology (IPGT)

C'est en 2010 que, la Suisse est devenue membre de l'*International Partnership for Geothermal Technology (IPGT)*, fondé en 2008 par les USA, l'Islande et l'Australie. La Nouvelle-Zélande y est entrée fin 2011. L'IPGT met l'accent sur le développement de systèmes géothermiques (*Enhanced / Engineered Geothermal Systems EGS*), qui – contrairement aux autres formes d'énergie renouvelable – permettent une production d'énergie en ruban. Espace de discussion accueillant les représentants de

gouvernements et d'industries, l'IPGT se propose de coordonner le développement des EGS et de favoriser les collaborations.

L'IPGT doit notamment identifier les principaux obstacles rencontrés par les technologies EGS et élaborer des recommandations en matière de collaboration multilatérale pour favoriser les développements technologiques dans certains domaines de la géothermie. Une mission centrale de l'IPGT concerne l'encouragement de

projets de recherche, de développement et de démonstration communs.

L'IPGT permet à la Suisse d'augmenter de manière très importante l'efficacité de ses investissements par effet de levier. Il peut ainsi renforcer la collaboration entre les chercheurs suisses et étrangers et favoriser le transfert des connaissances acquises dans le cadre de grands projets.

## 7 Organisation et assurance qualité

L'OFEN couvre pratiquement toute la palette de la recherche énergétique. Il ne limite en outre pas ses activités à l'attribution d'aides financières, mais représente les dif-

férents programmes de recherche de manière active auprès des instances nationales et internationales. De plus, ses représentants accompagnent directement les pro-

grammes de recherche importants. Il dispose à cette fin des compétences nécessaires à l'interne ou fait appel à des experts extérieurs (chapitre 7.1).

### 7.1 Organisation interne

Les tâches concernant la recherche énergétique de l'OFEN sont effectuées par la section Recherche énergétique, qui assure directement la gestion de la plupart des programmes de recherche de l'OFEN. Certains de ceux-ci sont pris en charge par d'autres sections de l'OFEN ou sont gérés à l'extérieur de l'OFEN. Ainsi, l'OFEN n'assume-t-il qu'un rôle de répondant dans le domaine *Énergie nucléaire (Technique et sécurité nucléaires, Recherche réglementaire en sécurité nucléaire, et Fusion nucléaire)*. Qu'il s'agisse de fixer les objectifs ou de gérer les budgets de ces derniers programmes, les compétences sont em-

maines des services directement concernés. Le PSI est responsable du programme de recherche *Technique et sécurité nucléaires*, l'IFSN du programme *Recherche réglementaire en sécurité nucléaire* et l'EPFL du programme *Fusion nucléaire*.

La section Recherche énergétique gère le budget de tous les autres programmes de recherche. Le budget pour les projets pilotes et de démonstration est géré par la section Clean Tech.

Les programmes de recherche suivants sont encadrés par d'autres sections de l'OFEN :

- le programme de recherche *Énergie-économie-société* par la section Régulation des marchés de la division Économie ;
- le programme de recherche *Barrages* par la section Barrages de la division Droit et sécurité ;
- le programme de recherche *Déchets radioactifs* par la section Gestion des déchets radioactifs de la division Droit et sécurité.

#### 7.1.1 Organisation des programmes de recherche

Chaque programme de recherche est géré par un spécialiste de la section Recherche énergétique en tant que responsable de domaine, compétent pour tout ce qui concerne l'administration et la coordination de ce programme de recherche. À ce responsable de domaine est adjoint un chef de programme, cette fonction pouvant être cumulée à la précédente sur la même personne, ou bien prise en charge par un spécialiste extérieur. Pour garantir une bonne

coordination avec les programmes de valorisation et de soutien de l'OFEN (par exemple, SuisseEnergie), presque chacun des programmes de recherche bénéficie de l'appui d'un spécialiste dans le domaine du marché (responsable de domaine marché) qui siège également dans le groupe d'accompagnement du programme de recherche correspondant.

La section Recherche énergétique organise deux fois par an une réunion des chefs

de programme, pour favoriser la collaboration entre les responsables de domaine au niveau de la recherche et du marché, ainsi que les chefs de programmes externes et des autres acteurs importants de la scène suisse de la recherche énergétique (par exemple, Domaine des EPF, Euresearch, SEFRI, CTI, Swisselectric Research). L'une de ces deux séances est tenue au semestre d'hiver avec la CORE.

#### 7.1.2 Projets pilotes et de démonstration

Les projets pilotes et de démonstration font le lien entre les résultats de la recherche énergétique et le marché. Pour tenir compte de ces exigences lors du choix des projets, l'OFEN a mis sur pied un comité d'experts interne pour projets pilotes et de dé-

monstration ; des spécialistes de la recherche énergétique, du marché et de la communication y sont représentés. La section Recherche énergétique y est chargée des travaux administratifs et de la coordination.

Les coûts supplémentaires non amortissables doivent figurer sur le formulaire de demande, pour pouvoir évaluer le montant maximal de la contribution. Pour les bâtiments, il faut apporter la preuve que l'aménagement prévu respecte au moins les va-

leurs cibles fixées par la Norme SIA 380/1 (pour les cas de rénovation d'immeubles) ou le standard Minergie-P (pour de nouvel-

les constructions). La requête doit enfin être complétée avec les justificatifs Miner-

gie et le formulaire correspondant, dûment rempli, du service cantonal de l'énergie.

### 7.1.3 Conseil externe par des commissions d'accompagnement

La recherche énergétique de l'OFEN peut s'appuyer sur un vaste réseau de relations en Suisse et à l'étranger. Cela permet à l'OFEN d'obtenir très rapidement des prises de position concernant la plupart des

questions posées dans les différents domaines de la recherche énergétique. Cependant que l'OFEN peut compter sur les groupes d'accompagnement de ses programmes de recherche pour des questions

thématiques spécifiques, il dispose de la Commission fédérale de la recherche énergétique CORE pour ce qui est des questions stratégiques.

### 7.1.4 Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE)

La Commission fédérale pour la recherche énergétique CORE a été créée en 1986 par le Conseil fédéral, comme organe consultatif. Parmi d'autres tâches, elle met à jour tous les quatre ans le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*<sup>1</sup> qui sert d'instrument de planification pour toutes les instances fédérales chargées de la promotion dans ce domaine. Les services cantonaux et communaux en charge de l'exécution en matière de politique énergétique l'utilisent comme guide ou s'en inspirent pour établir leurs propres instruments de soutien dans le domaine de la recherche énergétique.

La CORE fait en outre régulièrement le point sur l'état de la recherche énergétique en Suisse, donne son avis sur la recherche sectorielle (« *Ressortforschung* ») de la Confédération et veille à ce qu'une infor-

mation convenable soit donnée au sujet des résultats et du développement de la recherche énergétique.

Chaque membre de la CORE parraine au moins l'un des programmes de recherche conduits par l'OFEN et en représente les intérêts en commission. À ce titre, il participe aussi aux activités du groupe d'accompagnement du programme de recherche correspondant (chapitre 7.1.5).

La CORE comprend 15 membres nommés par le Conseil fédéral et choisis parmi les principaux acteurs de la recherche énergétique suisse : grande industrie, économie énergétique (électricité, eaux, gaz), petites et moyennes entreprises (PME), bureaux d'ingénieurs, *start-ups*, promoteurs, respectivement capital-risque, Domaine des EPF, Hautes Écoles spécialisées, Universi-

tés, Cantons. À côté de l'OFEN, l'OFEV, le SEFRI et la CTI y délèguent des observateurs. Conformément à la loi du 21 mars 1997 sur l'organisation du gouvernement et de l'administration (LOGA ; RS 172.010, état du 1<sup>er</sup> mai 2011), la CORE veille à ce que les deux sexes et les régions linguistiques soient équitablement représentés en son sein.

La liste complète et mise à jour des membres de la CORE peut être consultée sous [www.recherche-energetique.ch](http://www.recherche-energetique.ch).

Le secrétariat de la CORE est assuré par l'OFEN. En règle générale, la CORE se réunit quatre fois par an durant une demi-journée et effectue une retraite de deux jours en été.

### 7.1.5 Groupe d'accompagnement

Conformément à leur cahier des charges, les directions des programmes de recherche sont tenues de constituer des groupes d'accompagnement, de les associer aux processus de décision et de les encadrer. Le membre de la CORE qui parraine tel ou tel programme de recherche est automatiquement membre du groupe d'accompagnement correspondant. La plupart des programmes de recherche énumérés au cha-

pitre 3 sont accompagnés par un groupe de ce type. Ce n'est pas le cas pour les programmes à large spectre (par exemple, le programme de recherche Énergie-économie-société), où l'accompagnement est organisé en fonction des projets. Il arrive aussi que les groupes d'accompagnement soient remplacés par des rencontres annuelles entre les responsables de projets (c'est le cas, par exemple, du programme

de recherche Solaire industriel à haute température) ou par des congrès nationaux réguliers, durant lesquels les acteurs et les responsables de projets rencontrent les représentants des instances de financement et échangent avec eux (par exemple, symposiums photovoltaïques organisés dans le cadre du programme de recherche *Photovoltaïque*).

## 7.1.6 Assurance qualité (objectifs pour la nouvelle période)

L'OFEN se conforme aux Directives sur l'assurance qualité dans les activités de recherche de l'administration fédérale<sup>x</sup>, qui traitent essentiellement trois aspects : la gestion de la recherche, l'élaboration des rapports et l'évaluation de l'efficacité. Pour garantir, respectivement améliorer, la gestion de la recherche et l'assurance qualité pour la période 2013–2016, l'OFEN met en place les mesures suivantes :

### Gestion de la recherche

- Élaboration et introduction d'une méthode standardisée pour le choix des projets. Cela comprend, en particulier, l'établissement de critères de décision homogènes et transparents, avec la documentation et les instructions nécessaires.
- Durant 2011 et 2012, la plupart des collaborateurs de la section Recherche énergétique ont suivi le cours CAS Forschungsmanagement donné par l'Université de Berne, ou certains de ses modules (CAS : Certificate of Advanced Studies) ;
- Élaboration et introduction d'un système de suivi continu (Monitoring) des

projets, qui s'étende au-delà de la fin du projet et qui puisse permettre de tracer la réutilisation des résultats acquis durant l'exécution du projet ;

- Élaboration d'un instrument de gestion qui puisse être mis à disposition tant des collaborateurs de l'OFEN actifs dans le domaine de la recherche énergétique que des directions externes de programme. Il s'agit de représenter toutes les étapes suivies, de manière transparente et compréhensible, depuis la décision de soutenir un projet de recherche jusqu'à son achèvement et aussi au-delà de son terme.

### Évaluation de la recherche énergétique

- Élaboration d'une liste de critères pour l'évaluation (analyses ex-ante et ex-post) des programmes et des projets de recherche ;
- Introduction d'indicateurs et d'étapes (Benchmarks et Milestones), qui permettent de suivre l'avancement du projet et de mesurer son degré de réalisation de l'objectif poursuivi ;

- Élaboration de feuilles de route (Roadmaps), permettant d'évaluer les programmes de recherche de l'OFEN à moyen et à long termes.

### Élaboration des rapports

- Établissement d'une banque de données centralisée pour l'archivage dans la durée des documents relatifs aux projets (par exemple, résumés, descriptions de projets, résultats acquis) ;
- Développement d'un système pour la mise en valeur des projets de recherche énergétique financés par les collectivités publiques, en tenant compte des thématiques prioritaires du Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2013–2016 et des champs d'action proposés par le groupe de travail interdépartemental IDA Énergie ;
- Mise au point d'un système de saisie automatique des données pour des banques de données accessibles au public, comme, par exemple, ARAMIS.

## 7.2 Transfert de savoir et de technologie

Un transfert de savoir et de technologie efficace et une diffusion ciblée des résultats de la recherche sont les clés de la réussite pour l'innovation issue des résultats de la recherche.

Le transfert de savoir et de technologie doit être pris en compte le plus tôt possible pour augmenter les chances de succès. Dans ce but, l'OFEN a mis sur pied en 2011 un point de contact Cleantech, dont les compétences s'étendent au transfert de savoir et de technologie et qui reprend ainsi une tâche jusqu'alors assumée par la section Recherche énergétique.

La section Recherche énergétique va continuer de publier les résultats des projets de recherche qu'elle soutient via des Success Stories et des articles qu'elle fait paraître – avant tout dans la presse spécialisée. Elle va encore continuer à mettre à jour et à gérer la banque de données publique concernant les projets pilotes et de démonstration soutenus par l'OFEN, qui peut être consultée sur Internet, comme c'est également le cas de la banque de données qu'elle actualise continuellement au sujet des compétences de recherche dans les Hautes Écoles et les Universités suisses.

### Transfert de savoir et de technologie par les directions de programme

Le vaste réseau de contacts – que les responsables de domaines, ainsi que les chefs de programme de l'OFEN entretiennent avec les principaux acteurs suisses et sur la scène internationale – contribue pour une part importante à la diffusion des résultats des projets de recherche soutenus par l'OFEN. La participation active à des congrès, à des symposiums ou à des ateliers, mais aussi la collaboration dans les instances concernées les plus diverses permettent des échanges d'informations ciblés.



## Annexes

### B. La recherche de l'administration publique fédérale

C'est ainsi que l'on désigne la recherche qui relève de l'administration fédérale. Il s'agit de travaux dont les résultats sont nécessaires à l'administration ou à la politique dans l'accomplissement de leurs tâches, ou lancés par elles parce qu'ils sont d'intérêt public. En particulier :

- la recherche intra muros de l'administration fédérale, c'est-à-dire qui se poursuit dans des institutions propres à la Confédération ;
- la conduite de ses propres programmes de recherches, notamment en col-

laboration avec les institutions de recherche des Hautes Ecoles, des institutions d'aide à la recherche, de la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI) ou d'autres organisations d'encouragement ;

- des contributions à des centres de recherches des Hautes Ecoles pour la réalisation de programmes de recherches utiles à l'administration fédérale dans l'accomplissement de ses tâches, ainsi que des mandats confiés à des tiers par l'administration fédérale.

Ne sont pas du ressort de l'administration publique, les dépenses des Hautes Ecoles et de leurs annexes financées par la Confédération, les contributions fédérales au Fonds National (FNS), à la CTI et à des institutions scientifiques au sens de la loi fédérale sur l'encouragement de la recherche et de l'innovation LERI (RS 420.1) (académies, services scientifiques auxiliaires, etc.) ainsi que les contributions à des institutions et organisations scientifiques internationales.

### C. Bases légales spécifiques

Outre le mandat général inscrit dans la LERI, la recherche dépendant de l'administration fédérale s'appuie sur quelque 40 dispositions légales spécifiques. Il s'agit tantôt de mandats de recherches directs ou de promesses d'aide fédérale, tantôt de mandats d'évaluation, de saisie ou de contrôle impliquant certains travaux scientifiques.

Outre le mandat général inscrit dans la LERI, la recherche dépendant de l'administration fédérale s'appuie sur quelque 40 dispositions légales spécifiques. Il s'agit tantôt de mandats de recherches directs ou de promesses d'aide fédérale, tantôt de mandats d'évaluation, de saisie ou de contrôle impliquant certains travaux scientifiques.

En outre, des travaux de recherche sont définis dans nombre d'ordonnances d'exécution et autres, et même lorsque la loi ne

formule aucun mandat explicite, son application exige bien souvent des connaissances spéciales et actuelles, qu'il faut acquérir par la recherche (p.ex. pour l'élaboration de directives et d'ordonnances).

#### Engagements découlant de conventions internationales et de mandats parlementaires

A côté des dispositions légales spécifiques, il existe quelque 90 types d'engagements internationaux (accords, conventions, participations à des organismes divers) exigeant, de façon explicite ou implicite, un effort de recherche sur les thèmes concernés. Et même quand ce n'est pas le cas, la recherche commanditée par certains offices est décisive pour leur permettre de maintenir les relations internationales nécessaires. Cet effort est indispensable à des rapports « d'égal à égal », c'est-à-dire qui reposent sur des connaissances scien-

tifiques à jour et acquises dans le pays même.

Le Parlement lui-même, par ses initiatives parlementaires, ses motions, ses postulats, ses interpellations et ses questions, réclame l'élaboration de projets d'actes législatifs, de rapports de contrôle et de renseignements dont la mise au point peut exiger une recherche plus ou moins extensive de la part des services fédéraux.

On trouvera une vue d'ensemble de ces lois spéciales, engagements internationaux et mandats parlementaires dans le rapport du comité de pilotage FRI *Recherche de l'administration fédérale: situation financière globale 2004-2007 et fondements dans les lois spéciales*, sorti en 2008 ([www.ressortforschung.admin.ch](http://www.ressortforschung.admin.ch)).

## D. Coordination de la recherche dépendant de l'administration fédérale

### Comité de pilotage Formation–Recherche–Innovation

Le comité de pilotage FRI a été institué par le Conseil fédéral en 1997 au cours de la réorganisation du domaine homonyme. Au nom du Conseil fédéral, il assume diverses tâches de direction touchant la recherche liée à l'administration fédérale, notamment pour la coordination des plans directeurs de la recherche ainsi que pour des questions d'assurance qualité<sup>xi</sup>. Il soutient les offices fédéraux dans l'application des directives régissant l'assurance qualité et peut faire procéder à des évaluations.

Le comité de pilotage réunit les directeurs des offices fédéraux menant leurs propres recherches, de la Chancellerie fédérale et de l'administration fédérale des finances,

ainsi qu'un représentant du Fonds national FNS, de la Commission pour la technologie et l'innovation CTI et du Conseil des Ecoles polytechniques fédérales (Conseil des EPF), respectivement. Il assure la coordination stratégique des recherches de la Confédération et soutient sa présidence, responsable du système dans son ensemble. Il adopte des directives sur proposition de la présidence, assume certaines tâches dans le choix des programmes nationaux de recherche (PNR) et des pôles de recherche nationaux (PRN), et recense chaque année les dépenses de recherche et le cadre budgétaire des crédits de recherche de l'administration fédérale pour en rendre rapport au Conseil fédéral. De plus, il informe ce dernier sur les mesures prises ou à prendre dans le domaine de la recherche

de l'administration fédérale, telles que des évaluations ou des travaux en rapport avec des interventions parlementaires.

En revanche, le comité de pilotage FRI n'assume pas le contrôle suprême, interdépartements et interoffices, des ressources financières de l'administration fédérale consacrées à la recherche. En 2006 pour la dernière fois, le Conseil fédéral a rejeté une recommandation à cet effet de la Commission de gestion du Conseil national<sup>xii</sup>. Il incombe en dernier ressort au Parlement d'exercer ce contrôle en attribuant les crédits de recherche spécifiques aux offices, ce qui lui permet d'intervenir de façon efficace par le biais des budgets annuels.

## E. La banque de données ARAMIS

Le système ARAMIS contient des informations sur les projets de recherche et évaluations que la Confédération poursuit elle-même ou qu'elle finance ([www.aramis.admin.ch](http://www.aramis.admin.ch)). Il a été introduit en 1997 pour donner suite à plusieurs interventions parlementaires qui réclamaient plus de transparence et une meilleure coopération dans ce domaine. Les tâches et objectifs du système ressortent de l'ordonnance relative au système d'information ARAMIS sur les projets de recherche et développement de la Confédération (RS 420.31):

- Mettre en lumière les activités de recherche et les évaluations faites par l'administration fédérale ;
- Éviter les doublons ;
- Servir d'instrument des services fédéraux en leur simplifiant la gestion des projets de recherche.

Le système fonctionne comme une simple banque de données reproduisant, tantôt isolément, tantôt en réseaux, tous les projets de recherche et les tests d'efficacité/évaluations menés par l'administration fédérale. ARAMIS est donc un pilier de l'assurance qualité dans son domaine et à ce titre, le système est inscrit dans les directi-

ves du comité de pilotage FRI sur l'assurance qualité. En vue de la coordination des travaux de recherche entre les services fédéraux, ARAMIS collecte chaque année des informations détaillées sur le type de recherches (intramuros, mandats de recherche et contributions accordées), les mandataires ainsi que les dépenses des offices au titre des plans directeurs de la recherche, et en fait la synthèse à l'intention du comité de pilotage. Celui-ci est ainsi assuré de connaître chaque année l'évolution des moyens et leur attribution dans chaque office, ce qui lui permet de soutenir la planification des travaux et la bonne affectation des fonds disponibles.

## F. Assurance qualité dans la recherche dépendant de l'administration fédérale

Dans son rapport *Pilotage de la recherche effectuée par l'administration fédérale* (23 août 2006)<sup>xiii</sup>, la Commission de gestion du Conseil national recommandait de procéder à une évaluation des directives sur l'assurance qualité élaborées en 2005 par le comité de pilotage FRI. Celui-ci a alors fixé les deux sujets d'analyse : *Evaluation de la mise en oeuvre des directives d'as-*

*assurance qualité et Utilisation des résultats de la recherche de l'administration fédérale dans leurs contextes respectifs*, et il a décidé de conduire les investigations conformément aux standards internationaux sous la forme d'une auto-évaluation interne, doublée d'une évaluation externe. Cette dernière a été confiée au Conseil suisse de

la science et de la technologie CSST, avec la participation d'experts internationaux.

Il est apparu que dans l'ensemble des offices fédéraux responsables de plus de 90% des investissements de recherche, l'assurance qualité correspond au principes énoncés dans les directives du comité de pilotage FRI<sup>xiv</sup>.

## Notes

- 
- i Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2013–2016, [www.recherche-energetique.ch](http://www.recherche-energetique.ch)
  - ii Les responsables de domaines sont exclusivement des collaborateurs de l'OFEN, alors que les chefs/cheffes de programme sont soit collaborateurs de l'OFEN ou des mandataires externes. La répartition des tâches est réglée par les cahiers des charges respectifs.
  - iii Office fédéral de l'énergie: *Rapports de synthèse annuels des chefs de programme* ; [www.recherche-energetique.ch](http://www.recherche-energetique.ch)
  - iv Office fédéral de l'énergie: *Liste des projets de la la recherche énergétique de la Confédération 2008/2009* ; [www.recherche-energetique.ch](http://www.recherche-energetique.ch)
  - v COST: Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique. Il s'agit d'une structure interétatique indépendante en vue de la collaboration scientifique qui regroupe 34 pays européens et Israël. La participation aux actions mises sur pied par COST est non obligatoire pour chacun des États membres qui choisissent ou non d'y prendre part. Une nouvelle action COST entre en force lorsqu'au moins cinq pays y adhèrent en s'engageant à y coopérer et en signant un *Memorandum of Understanding*. Les coûts de la recherche sont financés exclusivement et nationalement par chacun des États participants ; cependant les coûts des activités de coordination sont pris en charge par le PCRDT de l'UE. [www.sbf.admin.ch/htm/themen/international/cost\\_fr.html](http://www.sbf.admin.ch/htm/themen/international/cost_fr.html)
  - vi L'IFSN (Inspection fédérale de la sécurité nucléaire) ne reçoit pas d'argent de la Confédération pour ses activités réalisées dans le cadre de sa surveillance de la sécurité des installations nucléaires du pays. En effet, ses travaux sont soumis à des droits payants mis à la charge des exploitants d'installations nucléaires (art. 83 LENU). Selon l'article 86 de la loi sur l'énergie nucléaire, la Confédération peut soutenir la recherche appliquée sur l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire, en particulier en matière de sécurité des installations nucléaires et sur la gestion des déchets nucléaires. La recherche soutenue et donc financée par la Confédération doit être approuvée par le Conseil fédéral et par le Parlement dans le cadre du budget et de la planification financière. Quant au budget lui-même de l'IFSN, il n'est pas approuvé par le Conseil fédéral ni par le Parlement, mais par le Conseil de l'IFSN. C'est pour cette raison que le montant annuel prévu pour la recherche réglementaire en sécurité nucléaire est inclus dans le budget de l'OFEN. C'est pourquoi les moyens ainsi réservés pour la recherche de l'IFSN apparaissent dans le budget de l'OFEN ; ce montant n'est pas à disposition de la recherche, mais est transmis chaque début d'année à l'IFSN qui en dispose pour ses propres projets de recherche selon ses besoins à elle.
  - vii Biomasse pas ou peu boisée.
  - viii Office fédéral de l'énergie: *Potenziale zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz* (Potentiels de l'utilisation énergétique de la biomasse en Suisse), disponible en allemand avec résumé en français (2004).
  - ix Office fédéral de l'énergie: *Stratégie pour l'utilisation énergétique de la biomasse en Suisse – Stratégie énergétique suisse en matière de biomasse* (2010)
  - x *L'assurance qualité dans les activités de recherche de l'administration fédérale*, 9 novembre 2005, Présidence du Comité de pilotage du domaine formation, recherche et technologie ; [www.ressortforschung.admin.ch/html/dokumentation/publikationen\\_fr.html](http://www.ressortforschung.admin.ch/html/dokumentation/publikationen_fr.html)
  - xi Grundsätze für die Erstellung der Konzepte 2013–2016 betreffend die Forschungsaktivitäten der Bundesverwaltung in den 11 Politikbereichen (Principes pour l'élaboration des plans directeurs 2013–2016 concernant les activités de recherche de l'administration fédérale dans les onze domaines politiques), disponible en allemand, Comité de pilotage FRT, mai 2011.
  - xii BBI 2007 847 ([www.admin.ch/ch/d/ff/2007/847.pdf](http://www.admin.ch/ch/d/ff/2007/847.pdf))
  - xiii BBI 2007 771 ([www.admin.ch/ch/d/ff/2007/771.pdf](http://www.admin.ch/ch/d/ff/2007/771.pdf))
  - xiv Abschlussbericht des Steuerungsausschusses-BFT *Evaluation der Umsetzung der Qualitätssicherungsrichtlinien und der Nutzung der Forschungsergebnisse in der Ressortforschung*, April 2010







**Office fédéral de l'énergie OFEN**

Mühlestrasse 4  
CH-3603 Ittigen  
Adresse postale : CH-3003 Bern

Téléphone : ++41 (0)31 322 56 11  
Fax : ++41 (0)31 322 25 00

[contact@bfe.admin.ch](mailto:contact@bfe.admin.ch)  
[www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch)