



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération pour les années 2008 à 2011

élaboré par la
Commission fédérale pour la recherche énergétique CORE

Impressum

Avril 2007

Office fédéral de l'énergie OFEN

Mühlestrasse 4, CH - 3063 Ittigen

Adresse postale : CH - 3003 Berne

Tél. +41 31 322 56 11, fax +41 31 323 25 00

www.ofen.admin.ch

Commande de la publication : www.recherche-energetique.ch

Sommaire

Résumé		
Recherche ciblée		4
1. Introduction		6
2. Pourquoi l'État encourage-t-il la recherche énergétique ?		7
3. Vision et objectifs de la recherche énergétique		8
4. Principes directeurs et stratégie		10
5. Les points clés de la recherche énergétique 2008 – 2011		12
5.1 Utilisation efficace de l'énergie		13
Bâtiments		13
Transports		14
Accumulateurs et supercondensateurs		15
Technologie et utilisations de l'électricité		16
Réseaux		17
Couplage chaleur-force		18
Combustion		19
Centrales à gaz 2020		20
Piles à combustible		21
Technologie des procédés		22
5.2 Sources d'énergie renouvelables		23
Solaire thermique		23
Photovoltaïque		24
Utilisation industrielle de l'énergie solaire		25
Hydrogène		26
Chaleur ambiante		27
Biomasse		28
Force hydraulique		29
Géothermie		30
Énergie éolienne		31
5.3 Énergie nucléaire		32
Technique et sécurité nucléaires		32
Recherche réglementaire en sécurité nucléaire		33
Fusion nucléaire		34
5.4 Fondements de l'économie énergétique		35
6. Répartition des moyens de 2008 à 2011		36
	Annexes	
	A.1 Situation de la recherche énergétique	39
	A.1.1 Qu'est-ce que la recherche énergétique ?	39
	A.1.2 Bases légales	39
	A.1.3 Conditions-cadres	40
	A.1.4 Acteurs et organisation	41
	A.1.5 Moyens financiers	42
	A.1.6 Résultats acquis	44
	A.2 Stratégie détaillée	45
	A.2.1 Répartition et coordination nationales des tâches	45
	A.2.2 Critères de soutien aux projets	45
	A.2.3 Recherche fondamentale orientée	46
	A.2.4 Mise en œuvre des résultats de la recherche	47
	A.2.5 Conditions-cadres pour l'économie privée	47
	A.2.6 Coopération internationale	48
	A.2.7 Contrôle des objectifs atteints	49
	A.3 Procédure pour fixer les priorités	50
	A.4 La Commission fédérale pour la recherche énergétique CORE	51
	A.5 Domaines de l'OFEN et responsables	52
	A.6 Abréviations et sigles	54

Recherche ciblée

RÉSUMÉ

Comme par le passé, **2'000 watts par personne** représentent la valeur de référence en matière de consommation énergétique pour la seconde moitié de ce siècle. Les objectifs de la recherche énergétique en Suisse découlent de cette vision d'une société bénéficiant d'un approvisionnement durable en énergie:

- La demande d'énergie diminue d'un facteur 2,5.
- La production de CO₂ plafonne à une tonne par personne et par an.
- Les émissions de polluants baissent encore.
- Les flux de matières liés à la production d'énergie sont nettement plus bas.

Mais sans une nouvelle prise de conscience des consommateurs et des investisseurs concernant l'utilisation efficace de l'énergie et sans une amélioration des infrastructures et des modes de production, cette vision restera une simple déclaration d'intention. Des changements climatiques d'importance en seraient la conséquence (voir, par exemple, les rapports de l'IPCC).

Comme étape intermédiaire sur la voie menant à une «société à 2'000 watts», la Commission fédérale pour la recherche énergétique CORE formule quatre objectifs quantitatifs à l'horizon 2050 :

- Chaleur dans les bâtiments : sans combustibles fossiles
- Énergie dans les bâtiments : consommation divisée par deux
- Énergie issue de biomasse : utilisation triplée
- Consommation de carburant des voitures de tourisme : trois litres aux 100 km (consommation moyenne de l'ensemble des voitures en circulation)

La RD&D (recherche, développement et démonstration) énergétique est un élément essentiel de la politique énergétique suisse ; elle permet des innovations visant à améliorer l'efficacité énergétique et à renforcer l'utilisation de sources d'énergie renouvelables dans tous les domaines d'application de la société et des milieux économiques. Par ailleurs, la recherche énergétique garantit les compétences à long terme des participants aux projets et renforce la compétitivité de l'économie suisse.

Le Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération est en premier lieu un instrument de planification pour les instances de soutien relevant de la Confédération, en particulier les offices fédéraux et le Conseil des EPF. Le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération* est aussi une source d'informations pour les autorités cantonales et communales et une base de systématisation pour la coordination entre les

organismes de recherche. Périodiquement, la Commission fédérale pour la recherche énergétique CORE remet ce *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération* sur le métier et l'adapte aux progrès réalisés. Depuis 1984, la présente version est la sixième dans la série des *Plans directeurs de la recherche énergétique de la Confédération* et elle s'applique à la période allant de 2008 à 2011.

Compte tenu de la méthode de travail spécifique aux projets de recherche et de développement, la **coordination** est extrêmement importante. Au premier plan, on trouve les Hautes Écoles et les Hautes Écoles spécialisées, les organismes de recherche, ainsi que les institutions de recherche privées en Suisse. Mais les instituts universitaires à l'étranger ont aussi leur importance. L'harmonisation avec les activités de l'Agence de la Confédération pour la promotion de l'innovation (CTI/KTI), ainsi qu'avec les Programmes-cadres de recherche, de développement technologique et de démonstration (PCRDT) de l'UE et avec les Accords d'exécution de l'AIE est primordiale. Ces tâches de coordination, d'accompagnement et d'information incombent à l'Office fédéral de l'énergie OFEN.

Les efforts accomplis dans la recherche et le développement favorisent grandement **la sécurité, la durabilité et l'utilité socio-économique** de l'approvisionnement énergétique en Suisse. Alors que, de leur côté, les entreprises de l'économie privée considèrent souvent les projets de recherche et de développement trop risqués pour elles parce qu'elles sont axées sur le profit à court terme, les pouvoirs publics quant à eux investissent clairement dans des projets pour le long terme. Compte tenu de l'horizon temporel de longue durée et des risques importants, l'engagement des collectivités publiques dans la recherche énergétique est incontournable.

La recherche appliquée – complétée par les projets pilotes et de démonstration (P+D) – est au centre de la recherche énergétique soutenue par la Confédération. Le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2008 – 2011* privilégie les domaines de recherche pouvant être traités par des groupes de chercheurs compétents, ouvrant sur de bonnes perspectives de valeur ajoutée pour le pays et pouvant livrer des contributions significatives au développement durable à l'échelon national et mondial. Cela présuppose la mise en réseau de centres de compétences des milieux économiques et des collectivités publiques sur les plans national et international.

Le transfert de savoir de la recherche au marché fait partie intégrante de l'encouragement à la recherche. Les installations P+D, l'étroite collaboration avec les entreprises de la branche ainsi que le Programme SuisseEnergie y contribuent. La formation et le perfectionnement du personnel scientifique et technique, ainsi que l'information du grand public sont un autre volet de l'encouragement de la recherche.

Les grandes options de la RD&D énergétique pour les prochaines années sont les suivantes :

- Technologies et solutions globales avec un rendement maximum et un minimum d'émissions dans les domaines des transports, des bâtiments et de l'électricité.
- Technologies pour l'utilisation de la chaleur ambiante, de la chaleur solaire et de la biomasse.
- Technologies pour l'utilisation maximale, à court ou moyen terme, des potentiels hydroélectrique et géothermique.
- Technologies pour la réduction de la dépendance à l'égard des agents énergétiques fossiles, à moyen terme et au-delà (photovoltaïque, hydrogène, réacteurs nucléaires de 4^e génération).

Sur ces prémisses, la CORE a examiné les différents domaines afin de fixer les objectifs et les grandes options de la RD&D pour 2008 à 2011.

L'attribution des moyens financiers se base sur les faits et les hypothèses ci-après : depuis 1992, on note un recul constant des moyens engagés dans la RD&D. Suite aux mesures d'économie de la Confédération, la plupart des crédits pour les projets P+D ont été supprimés dès 2004. Avec à peine 160 MCHF par an, les dépenses actuelles de la Suisse pour la RD&D énergétique – mesu-

rées à l'aune du produit intérieur brut – ont atteint leur plus bas niveau depuis 30 ans (voir la figure 4 en page 42). **Compte tenu de l'importance des fonds publics pour le futur approvisionnement énergétique et pour l'économie suisse, le présent Plan directeur préconise des investissements annuels de 200 MCHF. Pour atteindre ce montant en 2011, il faut augmenter les crédits actuels (2005) de 25%** (voir la figure 1), ce qui correspond à une hausse annuelle de 6%. 20% des fonds d'encouragement sont affectés à la recherche fondamentale orientée et 20% au soutien de projets P+D, ainsi qu'à la recherche accompagnant ces projets. **L'élaboration d'un nouveau programme P+D est considérée comme indispensable.** On s'attend à une augmentation du retour des fonds de l'UE (aujourd'hui, quelque 20 MCHF par année). Par analogie avec l'accroissement des moyens mis à disposition de la recherche en général en Suisse, l'OFEN doit à nouveau allouer davantage de crédits d'encouragement pour pouvoir exercer son «effet de levier». On espère un engagement plus important de la part des Cantons, des Communes et des institutions de recherche privées. Dans le cadre de son activité de coordination, l'OFEN veille à ce que les fonds soient utilisés de façon efficiente.

Le budget de recherche comprend aussi un montant de 5 MCHF consacrés à la **recherche sectorielle de l'OFEN («Ressortforschung»** ; ce sont les moyens financiers de recherche utilisés pour assurer la conduite d'un office). 60% de cette somme sont affectés à la *Recherche réglementaire en sécurité* (pour l'énergie nucléaire et pour l'hydraulique) et les 40% restants sont dédiés aux *Fondements de l'économie énergétique*.

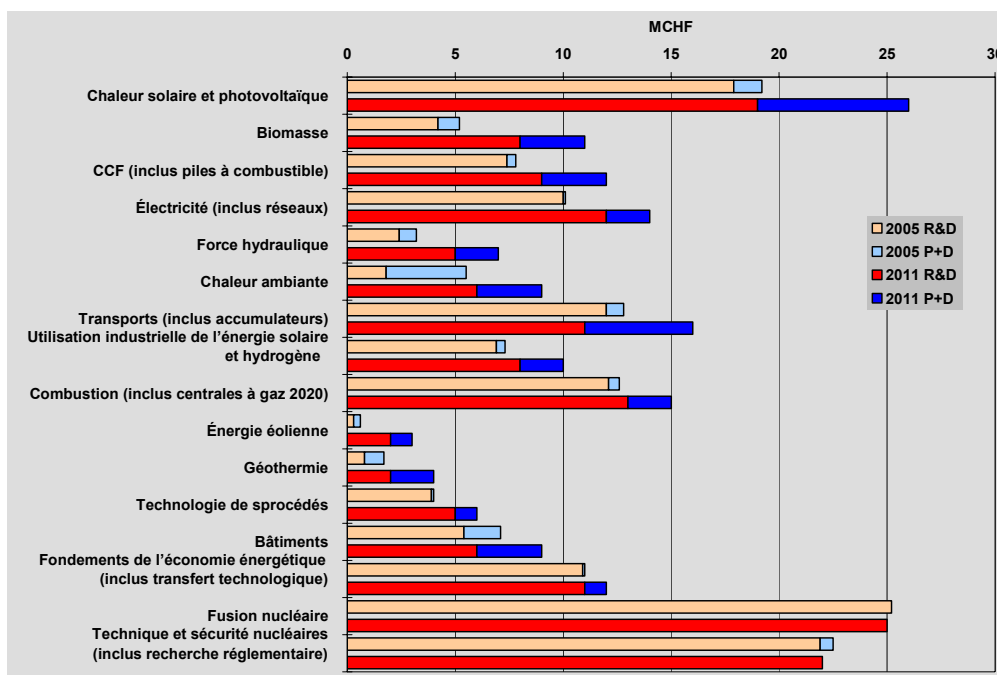


Figure 1 : dépenses annuelles des pouvoirs publics pour la recherche énergétique en 2005 et objectifs visés en 2011 (en valeurs réelles de 2005), séquencées selon la recommandation décroissante des fonds supplémentaires pour 2011. Les détails y relatifs figurent au chapitre 6 (page 36).

1. Introduction

La recherche énergétique est un pilier de la politique énergétique suisse. En 1984, le Conseil fédéral avait approuvé le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*, premier du genre, et avait chargé l'Office fédéral de l'énergie OFEN de systématiser la conception et la coordination de la recherche énergétique soutenue par les pouvoirs publics.

En 1986, le DETEC a institué la **CORE** – Commission fédérale pour la recherche énergétique – en tant qu'**organe consultatif** voué à la recherche énergétique, dont l'une des tâches consiste à remettre périodiquement sur le métier le *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération* et à l'adapter aux progrès réalisés. Le présent document en est la sixième version, entièrement remaniée, et **s'applique à la période allant de 2008 à 2011**. Il détaille les grandes articulations décrites dans le *Message relatif à l'encouragement de la formation, de la recherche et de l'innovation («Message FRI») pour les années 2008 à 2011* du Conseil fédéral. Les *Plans directeurs* sectoriels, établis par les chefs de programmes de l'OFEN à propos de chacun des domaines de recherche, vont encore plus loin dans le détail.

Le Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération est un instrument de planification pour les instances décisionnelles de la Confédération, tels l'OFFT, l'OFEN, le CEPF, etc. Il peut également être utile aux Services cantonaux et communaux chargés de mettre en pratique les objectifs de politique énergétique. Par ailleurs, il informe les établissements de recherche intéressés sur les domaines dans lesquels de nouvelles activités sont planifiées ; dans ce sens, il est **aussi une sorte de mise au concours de travaux de recherche**.

Enfin, le document montre comment et avec quels moyens les collectivités publiques suisses conçoivent une recherche énergétique qui permette d'atteindre les objectifs de leur politique de l'énergie.

2. Pourquoi l'État encourage-t-il la recherche énergétique ?

En principe, le soutien à la recherche financé avec l'argent des contribuables ne se justifie que si les résultats de cette recherche sont accessibles à tous les intéressés, si l'ensemble de la société peut en profiter et si l'économie privée ne fournit pas les prestations correspondantes.

La recherche énergétique revêt une importance capitale :

- L'économie et la société sont tributaires d'un approvisionnement énergétique suffisant et permanent. Compte tenu de la forte augmentation, tout à fait compréhensible, de la demande énergétique des pays émergents, ainsi que de l'accroissement des besoins, déjà à un niveau élevé, des pays industrialisés, le thème de la **sécurité d'approvisionnement** est une priorité dans l'agenda politique de tous les pays. Le développement de nouvelles connaissances visant à optimiser l'utilisation de l'énergie et à recourir aux nouvelles technologies énergétiques (NTE) est indispensable pour garantir un approvisionnement énergétique global.
- La demande actuelle d'énergie est couverte en grande partie par des ressources non renouvelables. Les techniques d'utilisation conventionnelles occasionnent en outre des atteintes locales et globales à l'environnement. Il convient de citer ici la modification du climat global imputable à l'effet de serre, lui-même dû principalement à la hausse de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. Cela explique que la recherche de nouvelles technologies énergétiques (NTE) axées sur la **durabilité** est devenue partout dans le monde un **objectif primordial de la politique énergétique et écologique**. Dans le cadre de sa législation sur le CO₂, la Suisse a adhéré à cette politique. Il s'agit de réduire rapidement la gravité du problème climatique global grâce au développement ciblé et à la mise en œuvre de systèmes durables pour la conversion et l'utilisation d'énergies ; cela ne sera possible qu'avec une recherche orientée vers cet objectif.
- Tous les secteurs de l'économie sont tributaires d'un approvisionnement énergétique sûr. Traditionnellement, les installations énergétiques sont des produits importants de l'industrie suisse d'exportation. Le perfectionnement et le développement de techniques énergétiques permettent de créer de nouveaux emplois ou d'en sauvegarder. Par conséquent, dans notre pays, la recherche énergétique a aussi une forte **incidence socio-économique**.

D'une part, l'intervention de l'État dans la recherche énergétique se justifie de par la **durée des investissements** : la longévité des installations énergétiques est souvent de plusieurs décennies (par exemple, les centrales hydroélectriques et nucléaires, le secteur du bâtiment). D'autre part, **les prix comparativement bas des agents énergétiques classiques** ralentissent, voire empêchent le lancement rapide de nouvelles techniques. De plus, l'introduction de ces dernières dépend de facteurs qu'il est difficile de prévoir : **données économiques, politiques et sociales**, vision et souplesse des investisseurs, acceptation de la part de la population, ainsi qu'interactions entre diverses technologies. Comme les entreprises privées sont fortement axées sur la rentabilité immédiate, elles considèrent que les projets de recherche et de développement (R&D) dans le secteur énergétique sont trop risqués pour elles. **C'est pourquoi il est juste et important que les pouvoirs publics soutiennent la recherche énergétique**. Seule la conjugaison des efforts de l'économie privée et des pouvoirs publics parviendra à accélérer, comme on le souhaite, le développement et la mise en pratique des nouvelles technologies énergétiques (NTE). Aujourd'hui, il est donc évident que tous les pays industrialisés soutiennent **la recherche énergétique, car elle fait partie intégrante de leur politique énergétique**.

3. Vision et objectifs de la recherche énergétique

La vision de l'approvisionnement énergétique pour la seconde moitié de ce siècle, telle que présentée dans les *Plans directeurs de la recherche énergétique de la Confédération* précédents, sert encore de base aux objectifs stratégiques. Par rapport à la situation actuelle, il faudra :

- **diviser par 2,5 les besoins en énergie, pour parvenir à une puissance moyenne de 2'000 watts par personne (énergie primaire).**
- **diviser par six les émissions de CO₂, pour atteindre au maximum 1 tonne par personne et par an.**
- **diminuer les autres émissions de polluants (oxyde d'azote, particules fines, hydrocarbures fluorés, etc.).**
- **réduire massivement les flux de matières liés à la production d'énergie.**

Pour atteindre ces objectifs, nous devons absolument changer nos habitudes de consommation et de production. Il faudra aussi nécessairement adapter le cadre politique national et international (mesures d'orientation, taxes d'incitation, impulsions, internalisation des coûts externes, etc.). Le futur *mix* énergétique dépendra donc à la fois des consommateurs, de l'industrie et de la politique. Seuls des efforts conjoints permettront la croissance durable escomptée avec un approvisionnement sûr et un environnement naturel convivial.

La vision d'une «société à 2'000 watts», liée à une réduction massive de la production de CO₂, est une approche suisse élaborée dans le cadre du Conseil des EPF. Les autres pays, qui aspirent également à un développement durable dans le secteur énergétique, tendent vers le même but.

Cela implique des défis essentiels pour la recherche : augmenter l'efficacité énergétique dans tous les domaines, développer de nouvelles technologies pour l'utilisation de sources renouvelables d'énergie primaire pour les substituer aux agents énergétiques fossiles, ainsi que continuer à rendre possible une utilisation sûre de l'énergie nucléaire.

Comme étape intermédiaire sur la voie menant à cette vision, la CORE formule **quatre objectifs quantitatifs** devant être atteints d'ici à 2050, malgré une croissance de 60% des services énergétiques :

- **Renoncer aux combustibles fossiles utilisés pour chauffer les bâtiments (bâtiments existants et bâtiments neufs).**
- **Diviser par 2 la consommation d'énergie dans les bâtiments (bâtiments existants et bâtiments neufs).** Consommation annuelle d'énergie primaire à ce jour : 500 PJ.

- **Multiplier au moins par 3 l'utilisation de biomasse comme agent énergétique.** Utilisation actuelle : 37 PJ.
- **Réduire la consommation moyenne d'énergie fossile de l'ensemble des véhicules en circulation à 3 litres aux 100 km.** Consommation actuelle : 7,6 litres aux 100 km.

Ces objectifs peuvent être atteints par différents moyens, grâce au perfectionnement systématique des technologies actuelles et grâce aux efforts consentis pour en développer de nouvelles. L'étude de telles approches technologiques (voir Annexe A.3) débouche sur une **feuille de route (roadmap)** générale, telle qu'elle est esquissée dans les figures 2 et 3. La figure 3 représente le **mix énergétique** qui en résulte pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, les transports, les processus industriels et l'électricité. Il en ressort que l'on peut réduire la puissance à environ 4'000 watts et les émissions de CO₂ à quelque 4 tonnes par personne. Cela signifie que d'ici à l'horizon 2050 on aurait parcouru un tiers du chemin vers le but souhaité pour un approvisionnement énergétique durable. Ces objectifs sont réalisables moyennant des surcoûts acceptables sur le plan socio-économique (moins de 5%), en particulier si l'on prend en compte les coûts épargnés qui auraient été engendrés par les conséquences négatives de changements climatiques.

Les principaux domaines de recherche à traiter pour atteindre les objectifs figurent dans la figure 2 ; ils seront détaillés au chapitre 5. Les domaines les plus importants de la recherche sont : la réduction des coûts, l'augmentation de l'efficacité, l'augmentation de la fiabilité et de la durée de vie, l'agrandissement des secteurs d'exploitation, l'élargissement du domaine d'application, la réduction des atteintes durables à l'environnement et les intégrations de systèmes.

Figure 2 : feuille de route technologique sur la voie menant à une «société à 2'000 watts» ; elle représente les apports (donnés en watts par habitant) escomptés jusqu'en 2050 en efficacité énergétique et en sources d'énergie renouvelables, compte tenu des développements technologiques dans les différents secteurs, sans et avec amélioration. On y trouve également les principaux domaines de recherche.

Figure 3 : agents énergétiques pour l'approvisionnement de la Suisse en 2001, 2025 et après 2050, sur la base de la feuille de route technologique ; on fait la distinction entre un *mix* technologique sans énergie nucléaire (A) et un *mix* avec énergie nucléaire (B).

*en plus du courant utilisé dans les domaines indiqués.

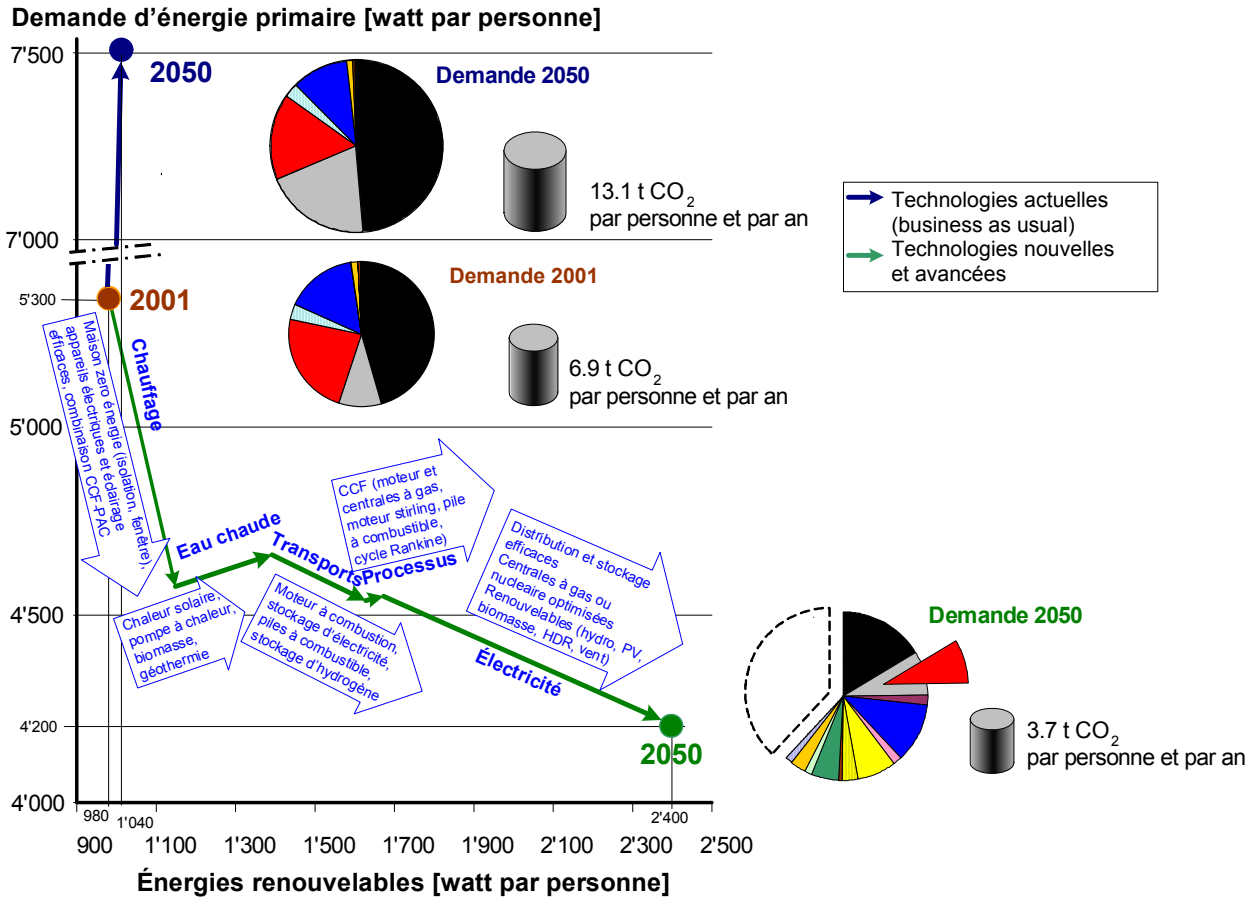


Figure 2

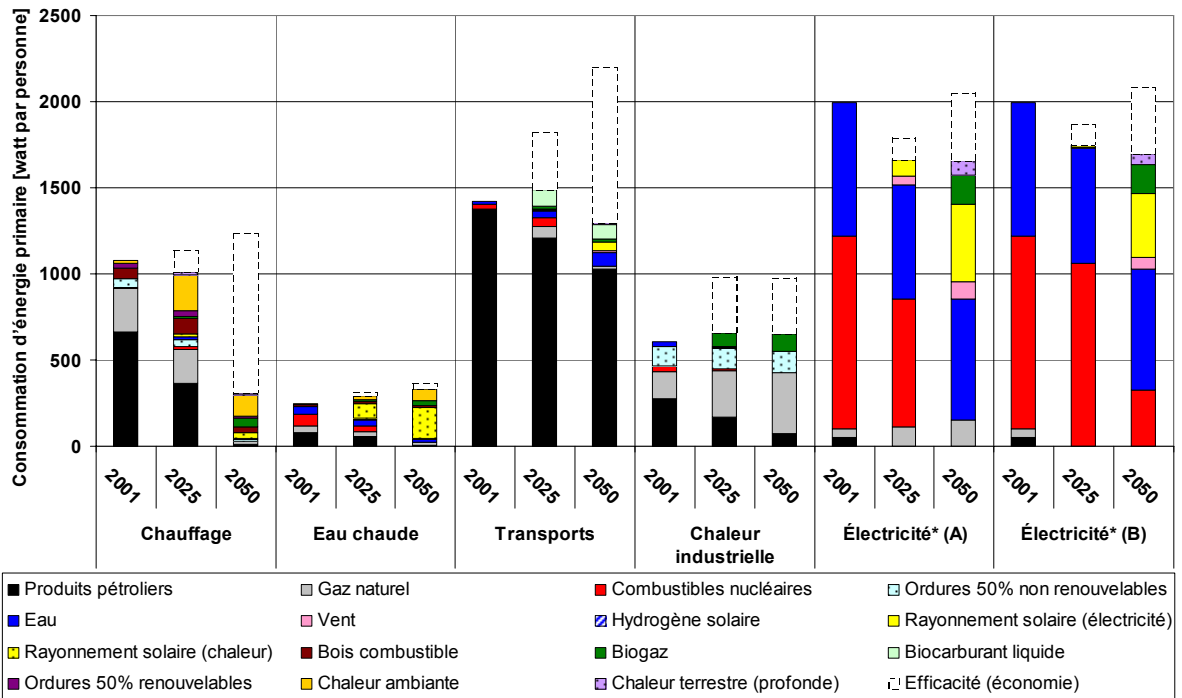


Figure 3

4. Principes directeurs et stratégie

L'engagement des fonds des collectivités publiques dans la recherche énergétique doit être le plus efficace possible. Compte tenu des impératifs de politique en matière d'énergie et de recherche, il doit obéir aux principes suivants :

1. Durabilité, pensée et action globales

L'évolution mondiale des ressources et de la population rend indispensable la garantie d'un approvisionnement et d'une utilisation de l'énergie respectant l'environnement. La recherche énergétique doit être sous-tendue par une vision globale. Il faut en particulier prêter l'attention nécessaire aux relations entre la technique et l'environnement, ainsi qu'aux aspects sociaux et économiques. Il faut encourager les projets interdisciplinaires et transdisciplinaires.

2. Genre de recherche

La recherche énergétique est en premier lieu une recherche ciblée et appliquée. Il importe de créer des centres de compétences poursuivant des travaux technologiques ciblés et en contact permanent avec l'industrie. **Il incombe donc aux pouvoirs publics de s'engager sur d'importants thèmes d'avenir délaissés par l'économie privée.**

3. Horizon temporel

Si la recherche énergétique doit répondre à des préoccupations immédiates et à long terme, ses priorités découlent des perspectives de la politique énergétique à moyen terme et au-delà. Simultanément, il faut l'harmoniser avec les efforts consentis en Europe et dans le monde.

4. Priorités et constitution de réseaux

La recherche énergétique suisse se concentre sur les domaines où elle peut le mieux contribuer à la réalisation des objectifs et qui présentent les conditions les plus favorables quant aux ressources humaines et économiques. Il faut donner la priorité à des domaines traités par des groupes de chercheurs compétents, ouvrant sur de bonnes perspectives de valeur ajoutée pour le Pays et pouvant livrer des contributions significatives au développement durable à l'échelon national et mondial. Dans les secteurs prioritaires, il convient de créer et de maintenir des groupes de recherche bien dotés en personnel et en moyens financiers dans l'intérêt de la continuité des travaux. Par ailleurs, la mise en réseau des institutions de recherche et d'enseignement est encouragée, en vue de constituer des centres de compétences scientifiques reconnus sur le plan international.

5. Développements parallèles

Lorsque les objectifs visés sont particulièrement importants, il est judicieux de suivre plusieurs va-

riantes techniques et institutionnelles (même dans le cas de la coopération internationale) afin d'éviter des échecs et des retards, mais aussi pour créer une situation propice à la compétition.

6. Collaboration internationale

Toute recherche de valeur possède une orientation internationale. La collaboration et la communication internationales augmentent l'efficacité des moyens engagés dans la recherche. Pour que la collaboration soit fructueuse (notamment dans le cadre des projets de l'AIE et de l'UE), il faut que la Suisse y participe activement et que ses contributions soient reconnues et de haute qualité. La collaboration internationale doit dépasser le cercle des nations industrialisées et s'étendre aux pays émergents.

7. Soutien financier aux entreprises privées

L'engagement de la Confédération dans les travaux de l'économie privée répond au principe de la participation, selon lequel les entreprises participent aux dépenses des institutions publiques de recherche en vue de la mise en œuvre de projets prometteurs. Il faut également créer des impulsions permettant à une dynamique industrielle de se déployer. La propriété intellectuelle (brevets, licences) réalisée grâce à des fonds publics profitera aussi à l'économie.

8. Recherche à l'étranger

Les projets de recherche menés à l'étranger ne sont financés que s'ils ouvrent de bonnes perspectives de valeur ajoutée pour la Suisse.

9. De la recherche au marché

Le transfert des résultats de la recherche vers le marché fait partie intégrante des tâches des collectivités publiques qui soutiennent la recherche. Dans cette optique, le financement de projets pilotes et de démonstration (P+D), ainsi que la collaboration étroite avec l'économie privée sont une absolue nécessité. Le Programme SuisseEnergie contribue aussi à la mise en œuvre sur le marché. Il s'agit d'accélérer le lancement de techniques énergétiques durables, car il faut se rappeler que le délai s'écoulant entre l'aboutissement de la recherche fondamentale et la maturité technologique pour le développement d'une nouvelle technique énergétique est de l'ordre de plusieurs décennies. Les responsables de la recherche resteront conscients de ces délais de mise en application, tout en gardant assez de souplesse pour réagir rapidement aux nouvelles découvertes porteuses de promesses.

10. Formation

Les collectivités publiques qui soutiennent la recherche énergétique assument aussi des responsabilités en matière de formation et de perfectionnement du personnel scientifique et technique. Il faut encourager une large diffusion des nouvelles connaissances acquises.

11. Information

Le grand public doit être largement informé sur ce qui a trait aux travaux de recherche énergétique et de développement, à l'échéance du lancement de nouveaux produits, à leur implication sur les coûts et les bénéfices, et à leur impact sur l'environnement. En l'occurrence, il s'agit de mettre en évidence ces interactions dans l'optique de la vision à long terme (chapitre 3).

Pour la réalisation des objectifs, la recherche énergétique publique prévoit les **mesures stratégiques** suivantes :

- **une bonne coordination et répartition nationale des tâches**
- **des critères compréhensibles et transparents pour le soutien à la recherche énergétique**
- **des échanges réguliers entre la recherche fondamentale et la recherche énergétique appliquée**
- **une mise en œuvre efficace des résultats de la recherche sous forme de produits et de services**
- **de bonnes conditions-cadres pour les entreprises et les institutions de recherche**
- **une intensification de la coopération internationale en matière de recherche**
- **un contrôle stricte de la réalisation des objectifs.**

L'Annexe A.2 revient sur chacune des mesures énoncées.

5. Les points clés de la recherche énergétique 2008 – 2011

Il incombe à la recherche énergétique de développer en priorité les technologies avec un **fort potentiel de réalisation des objectifs énoncés au chapitre 3**. Compte tenu des approches évaluées, les grandes options sont les suivantes :

- **technologies et solutions globales avec un rendement maximum et un minimum d'émissions dans les domaines des transports, des bâtiments et de l'électricité**
- **technologies dédiées à l'utilisation de la chaleur ambiante et de la chaleur solaire, ainsi qu'à celle de la biomasse**
- **technologies en vue de l'utilisation maximale, à court ou à moyen terme, des potentiels hydroélectrique et géothermique**
- **technologies permettant la réduction, à moyen terme et au-delà, de la dépendance à l'égard des agents énergétiques fossiles (photovoltaïque, hydrogène, réacteurs nucléaires de 4^e génération).**

Il convient de relativiser ces options générales, car il faut aussi prendre en compte :

- les expertises et activités académiques et industrielles en Suisse,
- l'état de développement des différentes technologies,
- la possibilité de collaboration internationale,
- l'acceptation des technologies en Suisse,
- le marché national et international, ainsi que les opportunités d'exportation,
- le potentiel en emplois, nouveaux produits et marchés (*spin-offs*) et jeunes pousses (*start-ups*),
- et les considérations des risques et profits.

L'évaluation de la situation, les **lignes directrices** à moyen et à long terme, ainsi que les **grandes options de la recherche 2008 – 2011** pour les différents domaines se trouvent résumées dans les pages suivantes. Ces dernières servent de base à la planification détaillée élaborée par les chefs de programmes responsables.

Les données concernant l'**attribution des crédits** aux différents domaines sont récapitulées dans le chapitre 6.

Les points clés de la recherche comportent également les dépenses correspondantes pour la mise en œuvre, en particulier pour les **projets pilotes et de démonstration (P+D)**. Ceux-ci sont d'une importance décisive pour la sauvegarde et la promotion de l'économie suisse : ils créent un lien étroit entre la science et l'économie et servent aussi à la formation. Dans le secteur de l'énergie, ce sont les projets P+D qui contribuent à la mise en œuvre des résultats de la recherche et à l'intensification des efforts pour lancer de nouveaux produits. Ils font également le lien indispensable entre les programmes de recherche énergétique de la Confédération et le Programme d'action SuisseEnergie. Il importe donc d'augmenter dès que possible les budgets alloués aux projets P+D, qui ont été fortement réduits suite aux restrictions budgétaires de la Confédération et des Cantons (voir également Annexes 1.1, 2.2 et 2.4).

5.1 Utilisation efficace de l'énergie

BÂTIMENTS

État actuel

En Suisse, la moitié de la consommation d'énergie primaire concerne les bâtiments : 27% pour le chauffage, le climat intérieur et l'eau chaude sanitaire, 15% pour l'électricité et environ 8% pour la production et l'entretien. Les bâtiments d'habitation utilisent quelque 27% de l'énergie consommée en Suisse (y compris l'électricité).

Ces dernières années, grâce à l'application des développements technologiques les plus récents (isolation thermique de haute performance, aération douce et éléments de construction thermoactifs pour chauffage et froid), on a pu réduire sensiblement la consommation d'énergie primaire, notamment dans les bâtiments neufs. D'autres optimisations énergétiques produisant moins de CO₂ sont encore possibles dans les constructions nouvelles. Mais il existe un fort potentiel d'économie d'énergie dans la rénovation des bâtiments existants.

Les travaux de recherche suisse dans le bâtiment font souvent partie intégrante de projets internationaux dans le cadre de l'AIE ou de réseaux européens, dans lesquels ils occupent une part prépondérante.

Objectifs techniques et économiques

Les activités de recherche sont orientées de telle sorte que leurs résultats contribuent grandement à la réalisation d'une «société à 2'000 watts» tant souhaitée. La publication des «Objectifs de performance énergétique SIA» est l'outil adéquat pour définir les objectifs des constructions durables. On y prend en compte l'énergie grise et la mobilité induite.

En poursuivant la recherche, on pourra encore réduire la demande énergétique, tout en gardant un confort élevé pour l'utilisateur et un équipement technique optimal. À cette fin, il importe avant tout d'améliorer les techniques concernant l'isolation thermique, les fenêtres et l'aération, ainsi que d'augmenter l'efficacité énergétique des applications électriques.

Quant au climat intérieur, notamment pour le refroidissement des bâtiments, des travaux de recherche sont encore nécessaires. Il est également question d'utiliser de nouveaux matériaux de construction afin de diminuer l'énergie grise.

En étroite collaboration avec SuisseEnergie, les résultats de la recherche doivent être transférés dans les méthodes et standards concernant les optimisations énergétiques et les mesures d'assurance qualité dans le bâtiment.

Habitations		Bureaux		Écoles	
MJ/m ² a	Watt/personne	MJ/m ² a	Watt/personne	MJ/m ² a	Watt/personne
440	840	480	75	350	35

Tableau : objectifs pour la demande en énergie primaire du chauffage, de l'eau chaude et de l'électricité selon «SIA-Effizienzpfad Energie D0216 (2006)».

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Depuis l'été 2006, le «Centime climatique» met à disposition des moyens consacrés à la rénovation énergétique des bâtiments. Par ailleurs, le Conseil fédéral a voté une taxe dite «d'incitation» (taxe sur le CO₂) sur les combustibles dont les revenus seront redistribués aux ménages et à l'économie. Cela donnera de nouvelles impulsions au marché. Mais ces deux types de recettes ne sont pas destinés aux travaux de recherche.

Les fonds engagés dans la recherche peuvent être maintenus à 6 MCHF par an. Néanmoins, afin d'accélérer la mise en pratique des nouvelles connaissances acquises, les crédits alloués aux projets d'installations P+D doivent s'élever au minimum à 3 MCHF par an, dont une partie doit être attribuée au programme «bâtiments» pour le transfert de savoir-faire, toujours plus important.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

- Concepts de bâtiments optimisés en vue de l'établissement d'une «société à 2'000 watts» (maintien de la diversité des concepts architecturaux, utilisation passive de l'énergie solaire et de la lumière naturelle).
- Isolations thermiques de haute performance avec prise en compte de l'isolation sous vide et des constructions en bois pour les bâtiments neufs et pour la rénovation. Prise en compte des besoins énergétiques pour leur fabrication.
- Vitrages avec transmission optimisée d'énergie et de lumière, vitrages sous vide, etc. (*Advanced glazing technology*).
- Concepts de refroidissement alternatifs pour constructions à basse consommation d'énergie (refroidissement doux, pompes à chaleur avec sondes géothermiques, etc.).
- Augmentation de l'efficacité énergétique des consommateurs de courant dans les bâtiments (technique du bâtiment, domotique, etc.).
- Récupération de chaleur et d'humidité dans les bâtiments.
- Concepts visant à intégrer l'énergie solaire pour le chauffage de l'eau sanitaire, le chauffage et le froid.
- Concepts, technologies et instruments de planification pour la rénovation énergétique des bâtiments.

TRANSPORTS

État actuel

Les transports sont responsables de la plus forte consommation totale d'énergie finale, soit un tiers. Dans ce groupe de consommateurs, le trafic motorisé individuel, notamment avec les voitures de tourisme, occupe la première place. En 2005, la consommation moyenne des voitures neuves était de 7,67 litres aux 100 km. Mais la réduction de la consommation d'énergie grâce aux progrès techniques est en grande partie annihilée par le comportement des clients, qui achètent des véhicules toujours plus lourds (confort, sécurité et luxe) et toujours plus puissants. Ainsi, les voitures modernes circulent avec un rendement (entre le réservoir et la roue) de seulement 20%, alors que le rendement du véhicule expérimental *Hy-Light* est de 51%.

La Suisse dispose d'une importante industrie productrice de composants de véhicules qui compte environ 150 entreprises avec 15'000 employés et qui réalise un chiffre d'affaires annuel de quelque 8 GCHF (milliards de francs). Les travaux de recherche soutenus par les fonds publics sont étroitement liés aux activités internationales de l'AIE et de l'UE.

Objectifs techniques et économiques

Les principales lignes directrices de la recherche sont l'abaissement de la consommation spécifique de carburant grâce à des mesures d'efficacité concernant les types d'entraînement, ainsi que la réduction de la masse des véhicules et de la résistance à l'air. Les petits moyens de transport de proximité, économes en énergie et surtout plus efficaces (toujours sous l'angle de leur convivialité écologique), ainsi que le comportement des acheteurs et des vendeurs sont d'autres domaines clés de la recherche. Le recours aux technologies actuelles et futures de l'information

pour une stratégie d'éco-conduite et les questions d'acceptation nécessitent encore d'autres études.

Un transfert du trafic motorisé individuel aux transports publics peut ménager efficacement les ressources. Pour favoriser ce transfert, il faut élaborer des mesures visant à augmenter le confort et l'acceptation des transports publics et à diminuer la consommation énergétique de ces derniers.

	2005	2025	2050
Consommation spécifique de carburant [litres/100 km]			
Voiture familiale, meilleur véhicule	4,3	2,5	2,0
Valeur moyenne, voitures neuves	7,67	4,5	2,5
Voitures pilotes	3,0	2,0	1,7
Motos, valeur moyenne	5	1,5	1,2
Motos pilotes	2	1,2	1,0
Autonomie [km]			
Vélos électriques	80	200	250

Tableau : données de référence illustrant les développements escomptés des moyens de transport individuels.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Actuellement, les fonds de la recherche engagés dans le secteur des transports avoisinent les 4 MCHF par an. L'importance de la politique énergétique et les perspectives économiques favorables justifient l'augmentation de ce montant à 6 MCHF par année, dont 3 MCHF consacrés aux projets P+D. Pour assurer un transfert efficace à la pratique, il faut une collaboration étroite avec les praticiens.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Réduction du poids des véhicules

- Développement d'une voiture légère avec une masse réduite de 30% (soit une consommation énergétique réduite de 20%).
- Développement d'un deux-roues ultraléger avec une consommation d'énergie convertie inférieure à 1 litre aux 100 km.
- Mesures visant à maintenir ou à augmenter la sécurité et le confort des véhicules légers.

Systèmes d'entraînement

- Développement de systèmes d'entraînement avec un rendement (entre le réservoir et la roue) supérieur à 30%.
- Optimisation des systèmes hybrides.

Transports publics

- Développement d'assemblages et de composants pour augmenter l'attractivité des TP.

Questions d'acceptation

- Achat de voitures et utilisation de systèmes.
- Acceptation des véhicules légers par les constructeurs automobiles.

ACCUMULATEURS ET SUPERCONDENSATEURS

État actuel

Les accumulateurs et les supercondensateurs permettent de stocker l'énergie par voie chimique ou électrostatique. Dans ces technologies, la Suisse occupe une position stratégique favorable grâce à ses industries et ses laboratoires de recherche.

L'accumulateur Zebra, composé d'un système électrolytique (sodium, chlorure de nickel / chlorure de sodium, nickel), est un accumulateur avec une forte densité énergétique et un nombre de recharges nettement plus élevé. Par rapport aux accumulateurs au lithium, il est aussi beaucoup moins sujet aux panes. Dans le domaine des transports, les accumulateurs au lithium sont soumis à la norme UN «pour le transport de marchandises dangereuses».

Le stockage électrostatique de l'énergie avec des supercondensateurs est une autre technique grâce à laquelle la Suisse occupe une position de *leader* à l'échelon mondial et qui présente une forte croissance annuelle.

Par ailleurs, la conversion des anciens fabricants suisses d'accumulateurs au plomb en concepteurs de systèmes d'accumulateurs produits en petites séries semble couronnée de succès.

L'industrie suisse des accumulateurs compte une dizaine d'entreprises qui occupent environ 400 employés et dont le chiffre d'affaires total se monte à quelque 150 MCHF.

Partout où cela s'avère judicieux, les travaux de recherche sont intégrés au réseau des activités de l'AIE et de l'UE.

Objectifs techniques et économiques

On souhaite :

- **Abaisser la température** de service de l'accumulateur Zebra.
- **Augmenter la stabilité des cycles** de tous les types d'accumulateurs par une meilleure compréhension de la chimie (y compris les structures infra-nométriques).
- **Augmenter l'énergie spécifique** des supercondensateurs.
- **Combiner efficacement** les supercondensateurs avec les accumulateurs ou les piles à combustible.

	2005	2025	2050
Capacité des accumulateurs [Wh/kg]	185	280	400
Nombre de recharges des accumulateurs	2'000	3'000	4'000
Capacité des supercondensateurs [Wh/kg]	10	100	200
Toxicité des supercondensateurs	toxique (diélectrique)	non toxique	non toxique

Tableau : données de référence illustrant les développements escomptés des accumulateurs et des supercondensateurs.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Actuellement, le budget annuel du secteur technologique des accumulateurs s'élève à environ 9 MCHF. Vu l'importance des accumulateurs et des supercondensateurs pour nombre d'applications, en particulier pour les véhicules, le crédit des pouvoirs publics devrait être relevé à 10 MCHF par an, dont 2 MCHF consacrés aux projets P+D.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Batteries

- Développement d'un accumulateur Zebra à basse température avec une température de service inférieure à 200 °C.
- Augmentation de la durée de vie, conjointement avec une baisse des coûts des accumulateurs au lithium et augmentation du rendement des systèmes d'accumulateurs métal-air.
- Intégration d'accumulateurs et de supercondensateurs aux systèmes de conversion des sources d'énergie renouvelables (éolien, photovoltaïque).
- Amélioration de la stabilité des cycles.

Supercondensateurs

- Combinaison des supercondensateurs avec des accumulateurs et des piles à combustible (augmentation de la durée de vie des accumulateurs et des piles à combustible).
- Développement d'un micro-supercondensateur intégré pouvant être utilisé pour le démarrage ou comme réservoir-tampon d'autres systèmes.

TECHNOLOGIE ET UTILISATION DE L'ÉLECTRICITÉ

État actuel

Les nouvelles technologies et les applications efficaces contribuent à réduire la croissance de la consommation annuelle d'électricité. Toutes les activités, pour autant qu'elles soient orientées selon les objectifs du programme, sont coordonnées sur le plan international. Les résultats de la recherche obtenus dans le domaine des applications sont mis à disposition de SuisseEnergie pour la mise en œuvre.

Objectifs techniques et économiques

Secteur technologique

- **Stockage à air comprimé efficace** : un stockage efficace de l'énergie pour les applications mobiles (par exemple, la voiture) et lors de la production stochastique de courant par des sources d'énergie renouvelables est indispensable. Pour le stockage à air comprimé, les calculs théoriques montrent un rendement de cycle avoisinant les 70%. C'est pourquoi la recherche doit s'intéresser à la faisabilité pratique avec les premiers modèles du nouveau concept d'accumulateur isotherme.

Objectif à long terme	2010	2020	2030
Rendement (cycle)	faisabilité	50%	70%

- **Conversion de chaleur en électricité** : la Suisse occupe une bonne position dans la recherche sur les matériaux thermoélectriques. Il faut modéliser les nouvelles applications de cette utilisation de la chaleur et en examiner la faisabilité pour pouvoir quantifier la contribution à la production annuelle de courant.

Objectif à long terme	2010	2020	2030
Applications	modélisation/ potentiel	faisabilité	applications

- **Supraconductivité à haute température (HTSC)** : le potentiel de la technologie HTSC représente environ 1 à 2% de la consommation de courant. Le développement des conducteurs progresse, mais l'entretien du savoir et la poursuite de la recherche sur les matériaux ont une grande importance si l'on veut réagir rapidement à la percée du développement.

Domaines d'application

- **Moteurs et systèmes d'entraînement efficaces** : on estime à 20–25% (5'000 GWh) le potentiel d'économies de courant utilisé par les moteurs grâce à la recherche de moteurs et systèmes d'entraînement de haute performance. Le moteur à aimant permanent intégral permettrait d'économiser 75 GWh et le nouveau moteur pas-à-pas 100 GWh.
- **Divers appareils efficaces** : il faut élaborer des bases techniques en vue d'augmenter l'efficacité de tous les appareils : valeurs et critères de base pour installations ASC < 10 kVA, comme base de l'étiquetteEnergie européenne ; analyse technique et études de réfrigérateurs efficaces, serveurs, dispositifs de communication, etc., comme base de mesures volontaires et/ou régulatrices ; concepts techniques novateurs pour réduire la consommation en mode de veille et en mode actif des appareils ménagers, tels que sèche-linge, réfrigérateurs, minibars, etc. avec prise en compte de l'industrie.

Objectifs à moyen terme	2008	2010	2015
Applications efficaces (extrait)			
Nouveau sèche-linge (appareil de classe énergétique A à un meilleur prix)	prototype	appareil de terrain	présérie
Minibar (potentiel d'économies 12 GWh)	analyse technique	prototype	présérie

- **Domotique peu gourmande en énergie** : il faut élaborer les bases techniques pour des systèmes efficaces de domotique dans le domaine privé.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Compte tenu du vaste champ de recherche, de l'état actuel favorable de la recherche en Suisse et de l'énorme potentiel d'économies, il convient de maintenir au moins les efforts de la recherche à leur niveau actuel, soit 7 MCHF par an. Les projets P+D devraient bénéficier d'un crédit supplémentaire de 2 MCHF par an.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Applications efficaces

- Bases techniques pour augmenter l'efficacité des entraînements, appareils et installations électriques. But : en collaboration internationale, créer des bases techniques pour la mise en œuvre.
- Recherche de dispositifs de domotique efficaces. But : réduire l'accroissement du courant consacré à la domotique.

Technologies

- Étude du principe d'accumulateur à air comprimé BOP (batteries oléo-hydrauliques et pneumatiques). But : démonstration de la faisabilité technique.
- Recherche sur les matériaux et identification d'applications adéquates pour la conversion directe de chaleur en électricité. But : premiers modèles avec démonstration d'applications concrètes et évaluation des potentiels.
- Collaboration active aux activités internationales pour la supraconductivité à haute température. But : assurer la participation au réseau international.

RÉSEAUX

État actuel

Compte tenu de sa situation au centre de l'Europe et de ses liens avec les pays limitrophes, le réseau suisse d'électricité occupe la fonction de plaque tournante. En prenant en considération les gazoducs très utilisés, on peut même parler d'une «plaque tournante énergétique». Les modifications des prescriptions légales en Suisse et la promotion initiée par l'UE d'un marché unique européen de l'énergie influencent durablement les conditions-cadres de production, de transport et de distribution d'énergie et posent de nouvelles exigences, notamment pour les réseaux. En plus des changements affectant l'environnement législatif, les développements technologiques et la menace de pénurie de certains agents énergétiques contribuent aussi aux développements suivants des infrastructures du réseau :

- Réseaux de distribution de courant : pénétration progressive des approvisionnements énergétiques décentralisés (énergie solaire, géothermie, énergie éolienne, biomasse, petite hydraulique, couplage chaleur-force (CCF), etc.).
- Domaine du transport : augmentation des flux d'énergie suite aux échanges transfrontaliers d'électricité, d'où des congestions du réseau toujours plus fréquentes.
- Vieillesse croissante des infrastructures actuelles du réseau.
- Interdépendance entre l'exploitation du réseau et la conception des marchés ouverts.
- Transport, distribution et conversion de différents agents énergétiques dans des réseaux d'énergies parallèles.
- Recours plus fréquent aux différents accumulateurs d'énergie (systèmes à air comprimé, supercondensateurs, etc.).
- Meilleure sensibilisation des intéressés pour les aspects écologiques, économiques et sociaux.

Objectifs techniques et économiques

Vu les développements susmentionnés, il ne suffit pas d'examiner les incidences des modifications de l'environnement technologique, économique et législatif sur l'exploitation du réseau et la fiabilité de l'approvisionnement, mais également la conception de nouvelles infrastructures du réseau (transnationales à régionales), en prenant en compte l'accroissement de la production décentralisée et les accumulateurs d'énergie. Un autre point fort concerne l'élaboration de concepts de *design* et de *management* efficaces pour la «plaque tournante énergétique suisse». En l'occurrence, il s'agit de traiter les questions de régulation du réseau, de gestion des congestions, d'extension du réseau à long terme et de dépendance aux réseaux de gaz, d'électricité et de chaleur. La recherche doit s'orienter vers les critères de fiabilité d'approvisionnement, de rentabilité et de durabilité, afin de représenter les exigences des différents partenaires. Il convient aussi de prendre en compte les questions socio-économiques comme la justesse des prix. Des programmes de recherche internationaux (EU-SmartGrids, AIE-ENARD) ont été lancés pour mettre en lumière les liens étroits avec les autres pays européens. Une participation active de la Suisse demeure une nécessité absolue.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Les fonds des pouvoirs publics engagés actuellement dans ce domaine de recherche s'élèvent à environ 3 MCHF par an. Ce montant doit être porté à environ 5 MCHF et une étroite collaboration avec l'industrie électrique est indispensable.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Réseaux électriques

- Modélisation et évaluation des interactions entre l'exploitation et le *design* du réseau, la fiabilité d'approvisionnement et l'organisation du marché de l'électricité.
- Estimation axée sur la pratique des interactions économiques et techniques entre les systèmes de gestion des congestions basés sur le marché et l'extension du réseau.
- Analyse de la fiabilité d'approvisionnement avec prise en compte des diverses structures de marché libéralisé.
- Conception de systèmes pour une gestion efficace et sûre du réseau (également lors de pannes ou de dangers).

Réseaux énergétiques couplés (électricité, gaz, chaleur)

- Projet et étude d'architectures de réseaux énergétiques futuristes en exploitant les synergies (distribution, transport, conversion, stockage).
- Évaluation de la sécurité d'approvisionnement avec des infrastructures multi-énergies.
- Estimation des retombées sociales, économiques et écologiques.

Technologies pour réseaux énergétiques

- Commandes souples des flux d'énergie (FACTS).
- Éléments de réseaux de distribution et de transport visant à augmenter l'efficacité.

COUPLAGE CHALEUR-FORCE

État actuel

Aujourd'hui, la Suisse ne produit qu'une petite partie du courant électrique avec des agents énergétiques fossiles. L'accroissement de la production provoque davantage de pollution (notamment : CO₂, NO_x) et augmente la dépendance à l'égard de l'étranger. Pour atténuer ces inconvénients, il faut utiliser des systèmes avec une efficacité énergétique aussi élevée que possible et un niveau d'émissions polluantes aussi faible que possible. À part les combustibles fossiles courants, on aura plus souvent recours aux sources d'énergie renouvelables, telles que le biogaz, le gaz de curage ou le bois. Les meilleures chaudières ont un rendement de 100%. Grâce à la combinaison CCF – PAC (couplage chaleur-force – pompe à chaleur), on emploie moins de la moitié de combustible pour la même chaleur utile.

La recherche doit donc se concentrer sur ces impératifs et améliorer les sources et les convertisseurs d'énergie, ainsi que les combinaisons de systèmes. L'objectif est la production efficace de chaleur utile pour le chauffage des locaux et de l'eau sanitaire en réduisant, par rapport à la valeur initiale, les émissions de CO₂ du chauffage du bâtiment et en produisant du courant électrique, qui ne doit plus être utilisé dans les pompes à chaleur, mais dont on peut disposer librement. Meilleurs seront les convertisseurs d'énergie et les systèmes combinés, plus forte sera la réduction de CO₂ ou la production de courant. Les travaux de recherche en Suisse dans le domaine du CCF sont de haut niveau et prennent en compte les progrès accomplis à l'étranger. Ils sont effectués en étroite collaboration avec l'économie privée.

Objectifs techniques et économiques

- **Augmentation du rendement de la production d'électricité** : il convient en particulier d'améliorer massivement les petites unités. En utilisant les agents énergétiques fossiles, le rendement doit au moins atteindre 40%. En point de mire, on trouve les moteurs à combustion (objectifs spécifiques, voir tableau), mais également les turbines à gaz et les centrales au gaz à cycle combiné dont elles font partie. Compte tenu de l'état actuel de la technique, la rentabilité des piles à combustible doit être fortement améliorée.
- **Amélioration du coefficient de performance (COP) des pompes à chaleur (PAC)** : en plus de l'amélioration du rendement des machines, il faut aussi tenir compte des conditions de fonctionnement (températures des sources de chaleur et du dissipateur thermique) qui influencent le COP de manière significative.
- **Réduction des émissions de NO_x** : certains systèmes moteurs obtiennent déjà de très bonnes valeurs et sont comparables aux centrales au gaz à

cycle combiné. Mais globalement, il faut encore une nette amélioration pour obtenir une différence utile par rapport aux chaudières à gaz.

- **Réduction des émissions de CO₂** : les émissions de CO₂ des générateurs alimentés aux combustibles fossiles dépendent en premier lieu du rendement. Pour obtenir des réductions plus importantes, il faut remplacer les agents énergétiques fossiles par des agents énergétiques renouvelables et en particulier biogènes.
- **Optimisation et concepts de systèmes globaux** : en plus de l'amélioration des différents composants pour la production fossile de courant, il faut aussi optimiser les systèmes globaux. En l'occurrence, il s'agit de toutes les combinaisons de CCF et de PAC, ainsi que de l'utilisation de combustibles biogènes et de rejets de chaleur.
- **Coordination avec d'autres programmes de recherche impliqués** : certains domaines partiels sont traités dans les programmes «combustion», «piles à combustible», «centrales à gaz 2020», «chaleur ambiante et rejets de chaleur», ainsi que «biomasse». S'agissant du programme «CCF», ces activités doivent être coordonnées et les conditions préalables à la conception optimale de systèmes globaux doivent être créées.

	2008	2025	2050
Puissance électrique jusqu'à 100 kW			
Rendement électrique	35%	40%	50%
Rendement global	85%	90%	90%
Puissance électrique de 100 kW à 1'000 kW			
Rendement électrique	40%	45%	50%
Rendement global	90%	90%	95%
Puissance électrique supérieure à 1'000 kW			
Rendement électrique	45%	50%	55%
Rendement global	90%	90%	95%
Coûts d'entretien pour tous les niveaux de puissance (ct. par kWh de courant)	3	2	1

Tableau : données de référence illustrant le développement escompté du couplage chaleur-force moteur.

Moyens à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Compte tenu de l'état actuel favorable de la recherche suisse et de la mise en œuvre ainsi que du fort potentiel, les crédits des pouvoirs publics engagés dans la recherche pour le CCF moteur doivent être revus à la hausse et passer de 1,5 MCHF par an actuellement à 2 MCHF d'ici à 2011.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

CCF moteur

- Augmentation de l'efficacité d'environ 10%.
- Réduction des émissions polluantes, en particulier de NO_x sur les valeurs des chaudières.
- Augmentation de la fiabilité, notamment grâce à la commande et au diagnostic.
- Réduction des coûts d'un facteur 3, notamment des

coûts d'entretien pendant l'exploitation.

Quant aux autres systèmes CCF dans les programmes «centrales à gaz 2020», «combustion», «piles à combustible», «chaleur ambiante» et «biomasse», ils doivent s'orienter le mieux possible vers les objectifs définis et être intégrés.

COMBUSTION

État actuel

La transformation d'énergie à partir d'agents énergétiques chimiques par combustion continuera à dominer l'approvisionnement énergétique. À l'avenir, à côté des agents énergétiques fossiles, les combustibles synthétiques, la biomasse et l'hydrogène gagneront en importance. La problématique du CO₂ et la hausse considérable des prix de l'énergie sont à l'origine de cette évolution qui a permis d'améliorer la compétitivité des nouveaux combustibles et carburants. La demande d'un meilleur rendement global est toujours plus forte, compte tenu des modifications apportées aux réalités économiques du marché. À l'avenir, les exigences concernant la combustion sans suie ou du moins la garantie d'un post-traitement des gaz d'échappement deviendront toujours plus sévères à cause de l'impact négatif des émissions de particules fines.

La recherche suisse a acquis des compétences reconnues sur le plan international dans le domaine de la combustion. Chez nous, ce secteur occupe environ 5'000 collaborateurs (fabricants de moteurs, sous-traitants de l'industrie de la combustion et centres de développement) ; son chiffre d'affaires s'élève à environ 2 GCHF (milliards de francs). De nouvelles perspectives s'ouvrent également pour l'industrie et les institutions de recherche en Suisse grâce aux nouveaux marchés de niche.

Objectifs techniques et économiques

Voici les défis à relever (avec une pondération décroissante) :

- réduction des émissions spécifiques de CO₂
- amélioration du rendement (global) pour réduire la consommation spécifique d'énergie (ménagement des ressources, économie)
- possibilité d'utiliser différents agents énergétiques, en particulier aussi les biogènes
- réduction des émissions polluantes (entre autres les particules fines) pour répondre aux prescriptions de plus en plus sévères, y compris les chauffages à fonctionnement synchronisé
- amélioration de la compétitivité des systèmes de combustion pour agents énergétiques biogènes.

	2010		2015		2020	
Camions diesel						
NO _x [g/kWh]	2		0,5		0,1	
suie [mg/kWh]	20		5		1	
η cycle de conduite [%]	38		41		45	
Moteurs stationnaires à gaz [kW]	100	10	100	10	100	10
NO _x [mg/Nm ³] pour 5% O ₂	2	5	0,5	1	0,1	0,2
CO [mg/Nm ³] pour 5% O ₂	20	30	5	10	1	2
η _{el} en %	42	30	45	33	50	35

Tableau : données de référence illustrant le développement technologique escompté des moteurs diesel et à gaz.

Les mesures pour atteindre les objectifs fixés sont l'augmentation de l'efficacité thermodynamique des systèmes, l'optimisation des systèmes entre les convertisseurs d'énergie (par exemple, les moteurs à combustion) et le post-traitement des gaz d'échappement, ainsi que d'autres améliorations du processus de combustion. L'utilisation de la biomasse contribue à réduire le CO₂ et à ménager les ressources, mais nécessite des efforts supplémentaires pour atteindre la même efficacité et la même valeur d'émissions que pour les agents énergétiques conventionnels. La recherche dans le domaine de la combustion de la biomasse fait partie du programme «biomasse».

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

À l'avenir, les solides compétences et les outils de la recherche en matière de combustion devraient être davantage utilisés pour d'autres systèmes de combustion et pour le recours à différents agents énergétiques. C'est pourquoi une bonne coordination avec d'autres programmes de recherche («CCF», «centrales à gaz 2020», «bois», «biomasse») est indispensable. Si l'on veut maintenir et renforcer le savoir-faire à moyen terme et au-delà, et l'utiliser pour d'autres systèmes de combustion ou d'autres agents énergétiques, on devra augmenter le crédit à 12 MCHF par an, dont 20% seraient consacrés aux projets P+D.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

- Présentation de «Systèmes à émissions zéro» pour la production combinée à petite échelle (10 kW à 100 kW) de courant électrique, de chaleur et de froid (y compris au moyen de pompes à chaleur et de la biomasse).
- Intégration des connaissances issues de projets expérimentaux de base (diagnostic au laser) dans le développement de capteurs miniaturisés et non invasifs pour leur utilisation réelle dans les machines à combustion.
- Optimisation de l'élaboration de mélanges et de la combustion, ainsi que minimisation des émissions polluantes lors d'utilisation (partielle) de biocarburants.
- Mise en œuvre des connaissances de base pour la présentation de technologies visant au respect des futures prescriptions en matière d'émissions (EURO 6, USA 2010/14), avec l'accent mis sur les moteurs diesel moyens et gros.
- Développement de modèles robustes (accent mis sur la *computational reactive fluid dynamics* CRFD) pour l'utilisation dans le développement, l'optimisation et le diagnostic de nouveaux systèmes de combustion, depuis les fondements susceptibles d'amélioration jusqu'à leurs applications.
- Combinaison renforcée des méthodes expérimentales et numériques pour optimiser le système global de traitement subséquent des gaz d'échappement de moteur.

CENTRALES À GAZ 2020

État actuel

Pour pallier la pénurie annoncée dans l'approvisionnement électrique à l'horizon 2020, toutes les technologies touchant aux centrales et susceptibles d'être développées et mises en œuvre dans ce court laps de temps ont aussi une importance particulière pour la Suisse. Les centrales à gaz à cycle combiné remplissent cette condition.

Par ailleurs, l'industrie suisse des centrales, avec les entreprises de sous-traitance et un environnement académique favorable, occupe une position de *leader* sur le marché international. Elle doit conserver cette place privilégiée et cela grâce à la concentration des projets – jusqu'alors dispersés – dans un programme nouvellement créé en 2006.

Objectifs techniques et économiques

Si l'on veut contribuer à la réalisation des objectifs de la politique climatique, il s'agit également d'élaborer une technologie des turbines à gaz et à vapeur qui permette d'utiliser les combustibles alternatifs et d'isoler totalement ou partiellement le CO₂. Les principaux objectifs de la recherche sont :

- **augmentation du rendement électrique**
- **réduction des émissions de CO₂**
- **fonctionnement souple.**

Compte tenu des exigences élevées, il faut impérativement se focaliser sur les composants clés.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Dans le domaine des centrales, l'industrie suisse est confrontée à une très forte concurrence internationale, qui bénéficie d'un soutien étatique important. Il ne s'agit pas simplement d'augmenter les fonds publics alloués à cette industrie en Suisse, mais également de grouper les travaux déjà en cours dans un projet conceptuel ciblé et d'y consacrer encore davantage

de fonds provenant de l'économie privée. Les fonds engagés par l'État dans ce domaine doivent être relevés, de 2 MCHF aujourd'hui, à 3 MCHF par an, compte tenu de son importance pour l'économie suisse.

	2006	2015	2020
Rendement global (net à partir du générateur)	58%	61%	62%
Rendement du compresseur d'air	89%	91%	92%
Rendement de la turbine à gaz chaud	86%	87%	88%
Rendement du générateur	98,5%	98,8%	99,0%
Rendement du circuit de vapeur d'eau	67%	69%	70%
Augmentation de la pression de la chambre de combustion	30 bar	33 bar	35 bar
Augmentation du rendement global par			
Préchauffage du combustible	0,2%	0,7%	1%
Réduction de l'air de refroidissement dans la turbine à gaz chaud et dans le générateur	0,5%	0,7%	1%
Augmentation du taux de pression et de la température du gaz chaud	0,8%	1,5%	2%
Réduction de CO₂ par			
Augmentation du rendement	0%	-3%	-4%
Co-combustion de gaz issus de biomasse ou d'huiles de pyrolyse	0	-5%	-15%
Modification des procédés (traitement des combustibles dans un reformeur et séparation du CO ₂)	0%	-80%	-90%

Tableau : données de référence concernant le développement escompté des centrales au gaz à cycle combiné.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Augmentation du rendement électrique à 62%

- Par l'augmentation du rendement des différents composants (compresseur, turbine à gaz, turbine à vapeur, générateur), par la réduction des besoins en air de refroidissement et par l'augmentation des paramètres des procédés (pressions et températures).

Réduction des émissions de CO₂ de 15%

- Utilisation de combustibles neutres en CO₂, en particulier de gaz biogènes, ainsi que modifications des procédés. But : baisse de 50 g des émissions de CO₂ par kWh_{el}.

Fonctionnement souple

- Amélioration de la puissance cyclique des composants, amélioration de la dynamique et nouvelles technologies de générateurs.

PILES À COMBUSTIBLE

État actuel

Compte tenu d'un faible taux d'émissions et d'un rendement élevé, la technologie des piles à combustible présente un fort potentiel d'utilisation de ressources écologiques et économiques. Leurs applications – autonomes, portables ou stationnaires – pour un remplacement non polluant des accumulateurs et pour l'approvisionnement en électricité et en chaleur offriront à longue échéance de bonnes perspectives sur le marché. La réalisation pratique est prévue pour dans 10 à 20 ans, car actuellement, ce sont surtout les entraves techniques (matériaux) qui empêchent une fiabilité et une durée de vie suffisantes, ainsi que des coûts d'investissement concurrentiels.

Les efforts de la recherche sont considérables, tant aux USA et au Japon qu'en Europe. Ils se concentrent en particulier sur les applications aux transports et sur les bases, le développement des composants, la modélisation et les standards.

La communauté suisse des piles à combustible fait bloc et est reliée au réseau international ; on reconnaît sa force dans la recherche et son développement. En Suisse, l'accent est mis sur la technologie des piles à membrane polymère (PEFC) et sur celle des piles à électrolyte solide (SOFC) pour les micro-systèmes (remplacement des batteries) ou les systèmes portables d'alimentation de secours (APU), pour l'énergie stationnaire de la maison, l'alimentation sans coupure (ASC) et pour les applications aux transports (véhicules, bateaux).

Objectifs techniques et économiques

Compte tenu de la qualité durable de la recherche, l'objectif économique à long terme est la création d'une industrie souple et compétitive de sous-traitance pour les composants essentiels, tels que membranes, cellules, *stacks* et (micro-)systèmes de piles à combustible intégrés. D'où les objectifs généraux :

- Augmentation de la durée de vie et de la fiabilité des piles et des *stacks*, et, partant, des systèmes.
- Intégration des systèmes dans les applications d'un marché de niches avec comme but : développement du savoir-faire nécessaire, adaptation des composants aux produits et preuve du concept.
- Mise à disposition des composants essentiels spécifiés par les «*leading edge*» pour les applications les plus diverses et à des prix concurrentiels, afin d'intervenir aussi dans des projets internationaux en tant que meilleur fournisseur.

- Réduction des coûts dans toute la chaîne de la valeur ajoutée, du produit de départ jusqu'au système et en passant par les composants.

	2008	2025	2050
Fiabilité : fonctionnement sans coupure [h]			
PEFC/SOFC	1 – 200	20 – 900	1'000 – 30'000
Accumulateur	0,5 – 500	→ = √	
ICE	2'000 – 50'000		→ = √
Brûleur à mazout	1'000 – 8'000		→ = √
Durée de vie : dégradation à 80% [h]			
PEFC/SOFC mob.-stat.	250 – 1'500	4'000 – >12'000	10'000 – 40'000
Accumulateur	6'000 – 25'000	→ = √	
ICE	2'000 – 70'000		→ = √
Brûleur à mazout	12'000 – 80'000		→ = √
Coûts d'investissement pour PC en [€/kW]			
PEFC/SOFC	5'000 – 15'000	60 – 1'800	10 – 200
Batterie	500 – 5'000	→ = √	
ICE	120 – 900		→ = √
Brûleur à mazout	500 – 2'000	→ = √	

Tableau : développement escompté des piles à combustible (→ = √: rattrapage des technologies de la concurrence et relève possible = but atteint).

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Si la Suisse veut garder, à moyen terme et au-delà, ses chances de contribuer à une utilisation rentable du fort potentiel écologique et économique des piles à combustible, il faut au moins qu'elle maintienne son savoir-faire et son étroite base industrielle. À cette fin, le budget annuel, actuellement de 6 MCHF, devra passer à 10 MCHF jusqu'en 2011, dont 2 MCHF par an à nouveau consacrés aux projets P+D. La création de synergies avec d'autres technologies, en particulier dans les domaines «CCF» et «transports», est impérative.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Durée de vie et fiabilité

- Amélioration de la qualité des matériaux et nouveaux matériaux – surfaces nanostructurées, membranes, céramiques, modélisation et validation, ainsi que tests de durée de vie pour atteindre les valeurs escomptées dans le tableau.

Intégration des systèmes

- Développement de produits de marché de niches, de préférence avec des piles et des *stacks* suisses pour adapter la technologie aux besoins du marché. Les applications visées sont les ASC, APU, l'alimentation de secours, le remplacement des accumulateurs, ainsi que les systèmes mobiles et stationnaires d'alimentation en électricité et en chaleur.

Disponibilité de composants essentiels

- Optimisation de la technique des systèmes et des procédés pour réaliser des piles et *stacks* industriels souples, et livrables en grandes quantités.

Diminution des coûts

- Tâche transversale pour tous les domaines clés de la recherche, c'est-à-dire recherche de matériaux meilleur marché, utilisés en moins grande quantité et fabriqués en séries, par exemple, moulage sous pression et par injection, poinçonneuses, etc., ainsi que coordination et simplification dans la technique des systèmes et des procédés.

TECHNOLOGIE DES PROCÉDÉS

État actuel

En Suisse, le secteur de l'industrie et des services consomme plus de 35% de l'énergie finale (combustibles 60%, électricité 40%). Au cours des dernières années, de nombreuses entreprises ont pu baisser leur consommation d'énergie (surtout les agents fossiles) en optimisant l'utilisation de l'énergie. Jusqu'en 2010, dans le cadre des conventions d'objectifs avec l'Agence de l'énergie pour l'économie (AEnEC), environ 80 groupes comprenant plus de 1'200 entreprises vont encore augmenter leur efficacité énergétique et réduire leur production de CO₂ provenant de combustibles fossiles d'environ 7%, soit de quelque 210'000 t de CO₂, par rapport à l'année 2000 (croissance économique prise en compte). La réduction relative due à toutes les mesures économiques déjà mises en œuvre, ou planifiées d'ici à 2010, est de 18% comparativement au développement non influencé. Dans les entreprises consommant beaucoup d'énergie, cela représenterait une exploitation d'environ 50% du potentiel de réduction techniquement réalisable pour les processus thermiques. La moitié environ du potentiel de réduction restant doit être exploitée grâce aux technologies de procédés plus efficaces, à un meilleur savoir-faire concernant les procédés (simulations), à la conduite et à l'optimisation des procédés et à l'intégration des procédés (minimisation de l'*input* énergétique par une habile liaison énergétique entre les sous-systèmes). Quant à l'autre moitié du potentiel de réduction restant, elle ne peut être réalisée que par l'utilisation d'agents énergétiques produisant moins de CO₂. Autrement dit, la chaleur et le froid industriels doivent être produits par des rejets de chaleur qu'on ne peut éviter et si possible grâce à des sources d'énergie renouvelables. S'agissant de la consommation de courant, également considérable – le secteur de l'industrie est le plus gros consommateur de courant –, elle doit diminuer grâce à l'amélioration de la technique et des stratégies de réglage, ainsi qu'à l'utilisation systématique de moteurs et systèmes d'entraînement de haute performance.

La recherche encouragée par les pouvoirs publics est organisée en fonction des branches et est essentiellement orientée vers les besoins de l'industrie suisse. Les progrès accomplis sur le plan international sont pris en compte et intégrés à la recherche.

Objectifs techniques et économiques

Tels sont les objectifs au niveau de la technique et de la planification :

- Développement de systèmes fiables de transmission de chaleur avec une pollution moindre (nanotechnologie) ou une dépollution simple.
- Systèmes pour l'utilisation des rejets de chaleur, y compris les gaz d'échappement industriels (par exemple, production rentable d'électricité).
- Études sur la compatibilité et l'intégration de systèmes alternatifs de production de chaleur industrielle pour procédés et processus thermiques (sécurité concernant la production de puissance thermique, le fonctionnement, l'exploitation, l'entretien).
- Réduction des coûts pour l'analyse et l'intégration des procédés.
- Élaboration des fondements et description de la «technique énergétique optimale» pour les procédés de fabrication gourmands en énergie.
- Développement et essai de technologies des procédés exempts de CO₂ pour remplacer les procédés thermiques.
- Élaboration des fondements et des outils décisionnels en vue d'une production industrielle durable.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Les fonds consacrés chaque année à ce domaine doivent être relevés, de 4 MCHF actuellement, à 5 MCHF. Par ailleurs, le crédit attribué aux installations P+D doit passer à 1 MCHF par an. Il est indispensable que l'industrie participe au moins à raison de 50% à tous les projets dans ce domaine.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Meilleure technologie de transmission de la chaleur

- Rendre utilisables les rejets de chaleur dans un environnement pollué (fumées) grâce à des surfaces d'échangeurs thermiques dépolluants (nanotechnologie).

Intégration des procédés à moindre coût

- Méthode *Pinch* : développer «*Pinch-Light*» pour les PME et des solutions standard.

Efficacité énergétique dans la technologie des procédés thermiques

- Élaboration des fondements et présentation de la meilleure technologie disponible pour les principaux procédés thermiques.

Technologie des procédés efficaces énergétique et produisant peu de CO₂

- Développement et analyse des technologies de pointe pour les procédés de fabrication industriels gourmands en énergie.
- Élaboration et essai de procédés exempts de CO₂ pour remplacer les procédés thermiques (en particulier les procédés de séchage et de séparation).

Énergie de production issue des rejets de chaleur et de sources d'énergie renouvelables

- Encouragement de l'intégration de systèmes d'énergie alternatifs dans les chaînes actuelles de production ; assurance qualité grâce aux essais et mesures sur le terrain.

5.2 Sources d'énergie renouvelables

SOLAIRE THERMIQUE

État actuel

En 2005, il y avait environ 16 millions de m² de capteurs installés en Europe soit une puissance de 11 GW thermiques ! Et la Chine s'équipe au rythme de 10 millions de m² par an contre modestement 30'000 m² par an en Suisse. Au niveau des capteurs de basse température, où la recherche Suisse est particulièrement active et la collaboration internationale bien établie, il y a deux difficultés à surmonter : le prix qui est actuellement une à deux fois plus élevé que les concurrents fossiles et la nécessité d'avoir toujours une source auxiliaire en cas de mauvais temps. Le point crucial est donc de densifier le stockage lors des journées bien ensoleillées.

Objectifs techniques et économiques

Les applications à basse température dans des pays ensoleillés sont déjà largement rentables depuis des années. Pour la Suisse les axes de recherche et développement pour le solaire thermique (jusqu'à 100 °C) sont :

- Le **stockage à long terme sans pertes** est le grand défi à relever pour atteindre 100% d'approvisionnement en chaleur par le solaire thermique.
- Un objectif intermédiaire est d'atteindre 50% d'approvisionnement par le solaire dans une villa de sorte que l'**appoint devienne enfin minoritaire** et que le marché s'ouvre plus rapidement (actuellement une installation solaire couvre 60 à 70% des besoins en eau sanitaire, mais seulement 20 à 30% seulement des besoins en chauffage).
- **Développer les techniques de froid solaire** pour tout type de bâtiment et, dans le cas des villas, un système simple et standardisé, utilisé avec les capteurs d'un système solaire thermique combiné (eau chaude et chauffage).
- **Amélioration des performances et de la durabilité des capteurs et des composants** : les éléments de captage, de transport et de stockage doivent être systématiquement testés et les composants importants confrontés aux nouveaux matériaux.

- **Standardisation de systèmes clefs en main** pour atteindre des volumes de production permettant de diminuer encore les coûts unitaires et les risques d'installation erronée.

	2008	2025	2050
Technologie des capteurs (coefficients A0/A1 moyen, W/m² K)			
non vitrés	0,90/15,0	0,95/10,0	0,97/5,0
plans vitrés	0,85/4,0	0,88/3,0	0,90/2,5
à tubes évacués	0,75/2,0	0,80/1,5	0,88/1,0
à concentration C100	0,65/1,0	0,70/0,9	0,85/0,5
Coût en Suisse de la chaleur ou de l'électricité thermosolaire (ct/kWh_{th}, respectivement ct/kWh_{el})			
piscine	5 – 15	5 – 10	5 – 10
eau chaude 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
Électricité thermosolaire 10 MW _{el}	25 – 50	15 – 35	10 – 20

Tableau : objectifs pour le solaire thermique.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

La Suisse a investi en 2005 environ 8 MCHF dans sa recherche en solaire thermique et stockage de chaleur. Compte tenu du potentiel que peut satisfaire la technique solaire, il convient de maintenir ce montant. Cependant, et comme l'expérience passée l'a bien démontré, un programme d'installations pilotes et de démonstration soutenu par les pouvoirs publics avec environ 4 MCHF/an est nécessaire pour progresser plus rapidement.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Capteurs

- Durabilité accrue et meilleure compréhension et simulation de tous les composants du capteur.
- Étudier l'intérêt des polymères pour réduire les coûts et le poids et simplifier le montage.
- Capteur ultraplat à haute performance pouvant s'intégrer aisément en façade et en toiture.
- Remplacement du cuivre par d'autres matériaux.
- Verres ou absorbeurs de couleur.

Stockage

- Matériaux à changement de phase en combinaison ou non avec l'eau.
- Stockage par sorption.
- Stockage thermo-chimique dans la gamme de température de 60 à 250 °C.
- Amélioration de l'exergie délivrable par un stock.

- Projets P&D de stocks saisonniers souterrains diffusifs pour de grands ensembles.

Systèmes

- Amélioration de la productivité et de la reproductibilité des performances (simplification et standardisation des équipements).
- Pré-montage.
- Systèmes sans glycol.
- Contrôle optimal et télémaintenance.
- Intégration dans des installations existantes.
- Production en masse.

Outils de projets et logiciels

- *Polysun* version 5.0 permettant de simuler une installation libre, tout en prévoyant les résultats des standards (*kits* ou *combi* du marché).

PHOTOVOLTAÏQUE

État actuel

À l'échelon mondial, la production de courant électrique au moyen de cellules photovoltaïques (PV) enregistre une croissance annuelle moyenne de 35% et représentait un marché d'environ 8 G€ (milliards d'euros) en 2005. Cette année-là, on a produit dans le monde environ 1,5 GW_c de modules solaires pour un total d'environ 4,5 GW_c installés. Les systèmes PV sont techniquement au point et produisent de l'électricité de manière très fiable. À travers le monde, la recherche en PV est en plein essor. Dans la R&D sur le plan international, la Suisse occupe une position de *leader*. Elle a aussi une grande expérience dans les applications du PV. Au cours des dernières années, la base industrielle a connu un fort développement. En 2005, le chiffre d'affaires du PV en Suisse s'est élevé à plus de 250 MCHF, dont 80% pour l'exportation. Fin 2005, on recensait des installations PV déployant une puissance globale supérieure à 25 MW_c et ayant produit près de 20 GWh (millions de kWh) cette année-là.

Objectifs techniques et économiques

Aujourd'hui encore, le courant produit par les modules PV coûte trois à cinq fois plus cher que l'électricité de production conventionnelle, mais suit une courbe d'apprentissage d'environ 20% (20% de réduction des coûts en doublant le volume cumulé). C'est pourquoi il faut absolument relever les défis techniques et économiques au cours des dix à vingt prochaines années. Les installations PV doivent évoluer vers des systèmes compétitifs pour de plus larges segments du marché et en Suisse notamment pour des applications couplées au réseau et intégrées au bâtiment. Les objectifs généraux de la recherche sont donc les suivants :

- **Baisse des coûts** des cellules et modules PV.
- **Objectif de coût** en 2011, pour le module : 3 CHF/W_c, pour le système : 5 CHF/W_c.
- **Augmentation du rendement** de conversion (des cellules PV).

- **Réduction de la quantité de matériel et d'énergie utilisée.**
- **Simplification et standardisation** de la technique des systèmes électriques, augmentation de la durée de vie et de la fiabilité des onduleurs.
- **Augmentation de la disponibilité et de la multiplicité** des produits industriels.

	2008	2025	2050
Technologie des cellules – Rendements dans la production			
Cellules cristallines [%]	14 – 18	22	25
Cellules à couche mince [%]	7 – 10	12 – 17	20
Cellules organiques – cellules polymères [%]	-	10	15
Modules solaires et intégration au bâtiment			
Coûts de la production d'électricité [ct./kWh]	30 – 80	15 – 30	10 – 20
Technique des systèmes électriques; onduleurs			
Coûts [CHF/W _c]	0,7	0,3	0,2
Durée de vie [ans]	10 – 20	25	30

Tableau : données de référence concernant le développement escompté du photovoltaïque.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Eu égard à l'état actuel favorable de la recherche et de la mise en œuvre en Suisse (base industrielle) et compte tenu du grand potentiel du PV, la recherche mérite d'être encore intensifiée. Il est donc proposé de faire passer les fonds à 12 MCHF par an d'ici à 2011. Par ailleurs, il faut à nouveau augmenter le crédit alloué aux projets P+D, qui avait subi une forte réduction, à 3 MCHF par an.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Technologie des cellules

- Production industrielle de cellules et de modules PV sur la base des technologies des couches minces. But : procédés de fabrication industriels et produits compétitifs (cellules, modules).
- Options de matériaux destinés aux cellules PV des prochaines générations (par exemple, cellules organiques et polymères). But : développer la collaboration internationale dans le cadre de la plateforme de technologie PV de l'UE.
- Procédés de fabrication pour des tranches de silicium plus minces. But : épaisseur de la tranche de silicium 150 µm.

Modules solaires et intégration au bâtiment

- Véritable intégration des cellules PV à couche mince dans de nouveaux produits destinés au bâtiment. But : fabrication industrielle de nouveaux

composants PV pour le bâtiment fondée sur les technologies des couches minces.

- Synergies des produits avec la technique du bâtiment (maisons écologiques) et les piles à combustible (à moyen terme). But : nouvelles approches de solutions pour l'optimisation de la production et de l'utilisation de l'énergie dans le bâtiment.

Technique des systèmes électriques

- Nouveaux composants de système constitutifs pour les systèmes hybrides, ceux en îlots et ceux couplés au réseau. But : solutions de production intégrée pour fonctionnement combiné, couplé au réseau, en îlots et hybride.
- Systèmes décentralisés de production, de stockage et d'utilisation d'énergie. But : approches de solutions pour une gestion active de la consommation.

UTILISATION INDUSTRIELLE DE L'ÉNERGIE SOLAIRE

État actuel

La recherche et l'industrie suisses ont été, il y a 25 ans, parmi les leader dans le développement de centrales thermo-solaires. Comme aucune installation n'a pu se concrétiser dans les Alpes et qu'aucun marché d'exportation ne s'est présenté, la Suisse a recentré ses efforts sur les transformations thermo-solaires et photochimiques. Ce n'est que durant ces dernières années que les centrales solaires thermiques ont fait une entrée remarquable sur le marché de l'énergie. Quelques faits saillants : environ 600 MW_{él} sont en service en 2007. Les objectifs pour 2012 sont de 5'000 MW_{él} installés dans le monde (correspondant à un investissement d'environ 20 GCHF [milliards de francs]). La production de combustible (en principe, l'hydrogène) par le cycle thermochimique ZnO / Zn est également développée en Suisse. Un réacteur pilote de 300 kW est testé pour réduire thermiquement le ZnO. À mentionner que, dans ce programme «utilisation industrielle de l'énergie solaire», seule la production de matériaux purs (réaction de réduction ZnO → Zn) est concernée, à l'exclusion de la production d'hydrogène (Zn + H₂O → ZnO + H₂) qui est du ressort du programme «hydrogène».

Objectifs techniques et économiques

Actuellement, le point fort du programme de recherche concerne les procédés thermochimiques qui ouvrent la voie aux technologies durables des matériaux et des énergies. Le rayonnement solaire à disposition offre un grand potentiel, mais les défis scientifiques sont énormes. En tenant compte de la récente évaluation du programme, les projets seront choisis en fonction des critères de disponibilité des compétences, des forts potentiels à long terme et des intérêts des milieux économiques. On renonce aux thèmes marginaux pour fixer ou développer des lignes de projets prometteuses. On ne pourra pas renoncer aux travaux concernant les sciences des matériaux afin de pouvoir faire face aux températures élevées et variables.

L'utilisation industrielle de l'énergie solaire comprend les segments photochimie, thermochimie et processus thermodynamiques. Les domaines d'application

de l'utilisation industrielle de l'énergie solaire qui doivent être examinés sont :

- **Thermochimie solaire** : la thermochimie solaire se concentre sur les processus de production de matériaux (notamment cycle ZnO / Zn) et sur les différents projets liés à ce processus, à la production de combustible basée sur des processus thermiques (à partir, par exemple, de coke de pétrole) et le recyclage de déchets dangereux (par exemple, pour la récupération de matériaux précieux).
- **Chaleur à haute température pour des processus industriels et pour des installations héliothermiques** : à l'image de l'Allemagne qui investit des moyens considérables dans cette technologie, la Suisse peut et doit se profiler. Les technologies d'exportation principales sont les turbines, les héliostats, les échangeurs de chaleur et l'ingénierie. Une évaluation précise est à mener.

	2008	2025	2050
Production solaire de carburant – rendement de la thermo-dissociation			
Cycle ZnO/Zn	10%	25%*	?
*inclus pertes optiques (source : PSI)			

Tableau : objectifs visés pour le cycle ZnO / Zn.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

En 2005, la Suisse a dépensé environ 5 MCHF pour la recherche dans le domaine «utilisation industrielle de l'énergie solaire». L'industrie doit à l'avenir être intégrée de façon renforcée dans ces travaux de recherche. Avec les moyens publics ainsi libérés, de nouveaux concepts prometteurs pour une application industrielle sont à évaluer. Pour le transfert de résultats vers une application industrielle, un budget P+D d'environ 1 MCHF est nécessaire.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Thermochimie solaire

- Finalisation des recherches sur le cycle ZnO / Zn.
- Mise au point du réacteur de thermo-dissociation.
- Réduction carbo-thermique du ZnO.
- Prospection pour la production thermochimique de combustible.
- Recyclage de déchets dangereux.

Chaleur à haute température pour des processus industriels et pour des installations héliothermiques

- Matériaux pour haute température en vue des applications solaires.
- Développement de projets selon les résultats de l'enquête sur les besoins de l'industrie dans les domaines suivants : héliostats, turbines, échangeurs de chaleur, logiciels et installations pilotes.

HYDROGÈNE

État actuel

L'hydrogène présente un vaste potentiel de substitution pour la demande sans cesse croissante de prestations énergétiques qui, à long terme, ne pourra plus être couverte par les énergies fossiles conventionnelles. Dans le monde entier, l'hydrogène est donc considéré comme un carburant ou un combustible synthétique important de l'ère post-fossile. Il s'agit de développer une production durable d'hydrogène à partir de sources d'énergie renouvelables, des technologies novatrices de stockage et de distribution, ainsi que des procédés de conversion efficaces en particulier électrochimiques. Comme ces tâches sont fort complexes, elles sont partout reconnues comme un véritable mandat de société à long terme.

Bien que l'hydrogène soit considéré comme la plus importante énergie du futur, la production annuelle mondiale d'hydrogène en 2004 s'élevait déjà à 62 millions de tonnes. La production d'engrais et la pétrochimie sont les principaux domaines d'application. Cela correspond à un équivalent de plus de 4% de la production annuelle mondiale de pétrole.

Pour les consommateurs, la mobilité joue un rôle clé dans les applications énergétiques de l'hydrogène. Conformément à la stratégie de mise en œuvre de la plate-forme technologique de l'UE pour l'hydrogène et pour les piles à combustible, les applications portables seront lancées sur le marché d'ici à 2010, les applications stationnaires jusqu'en 2015 et celles de la mobilité à l'horizon 2020.

Depuis plus de 30 ans, la recherche énergétique suisse s'occupe d'hydrogène et joue un rôle capital dans les projets internationaux. En plus de leurs compétences avérées dans la recherche, les PME suisses ont une renommée mondiale en tant qu'«OEM» dans le marché des spécialités de l'utilisation de l'hydrogène à des fins non énergétiques (technique cryogène, purification de diamants, électrolyse, production d'ammoniac, micro-électronique).

Objectifs techniques et économiques

Les principaux objectifs de la recherche suisse en matière d'hydrogène sont :

1. Modes de production basés sur les sources d'énergie renouvelables, telles que l'énergie hydraulique et l'énergie solaire, en particulier :
- Optimisation de l'électrolyse à haute pression, compte tenu des atouts de la Suisse dans l'utilisation de la force hydraulique.
 - Perfectionnement de la photo-électrolyse de l'eau avec des cellules tandem brevetées en Suisse.

- Démonstration à l'échelle industrielle de production d'hydrogène avec des oxydes métalliques fabriqués selon un processus de thermochimie solaire (voir le programme «utilisation industrielle de l'énergie solaire»).

2. Développement de méthodes de stockage d'hydrogène dans les domaines de la mobilité et de l'électricité.

	2008	2025	2050
Production de H₂ ; réalisation et coûts [€/kg H₂]			
Électrolyse avec la force hydraulique	20 – 35		< 5
Photo-électrolyse avec des cellules tandem	premiers modèles	< 10	
Production d'hydrogène basée sur des oxydes métalliques	démonstrateur		
Stockage de H₂ ; coûts de la réalisation et de l'accumulation [€/kg H₂]			
Matériaux	3 nouveaux matériaux	< 10	< 5
Application marché de niches ; réalisation et durée de vie [h]			
Systèmes mobiles	2 démonstrateurs		45'000
Systèmes stationnaires	5 démonstrateurs		500'000

Tableau : développement escompté et objectifs dans le domaine de l'hydrogène [source : *Plan de mise en œuvre de la plate-forme technologique de l'UE pour l'hydrogène et les piles à combustible, IEA Hydrogen Implementing Agreement*].

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Actuellement, les investissements cumulés des pays de l'OCDE pour les projets RD&D dans le domaine de l'hydrogène s'élèvent à plus de 400 M€ par an. Pour permettre à la Suisse de continuer à participer à part entière aux projets internationaux et pour maintenir les compétences professionnelles au niveau élevé d'aujourd'hui, les crédits nationaux doivent être augmentés à 3 MCHF par an. Pour réaliser les démonstrateurs et systèmes escomptés, il faudra 1 MCHF supplémentaires consacrés aux installations P+D. Il est indispensable de collaborer avec la recherche, les développeurs d'applications et les *sponsors* dans l'UE pour créer des consortiums de recherche et de réalisation promis au succès.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Recherche fondamentale sur les matériaux pour la production et le stockage de l'hydrogène, c'est-à-dire développer :

- de nouveaux matériaux fonctionnels basés sur les couches minces, ainsi que des méthodes de fabrication de couches minces,
- des catalyseurs résistants à la corrosion,
- de nouvelles céramiques à haute température,
- de nouveaux oxydes métalliques mixtes.

Application pratique des résultats prometteurs dans les **installations de démonstration et de l'industrie pour la production d'hydrogène.**

Développement de nouveaux concepts et intégration de systèmes ciblés de nouvelles options de stockage d'hydrogène pour premiers modèles et produits de marché de niches (comme, par exemple, électronique de puissance, industries de sous-traitance automobile, etc.).

CHALEUR AMBIANTE

État actuel

À l'échelon mondial, la Suisse conserve sa position de *leader* dans la recherche et le développement. La pompe à chaleur (PAC), qui assure le chauffage domestique ou chauffe l'eau sanitaire, a atteint un niveau technologique élevé. Sa fiabilité et sa disponibilité soutiennent la comparaison avec celles des chaudières à mazout ou à gaz. En Suisse, en 2005, la production de chaleur avec des PAC occupait la 3^e place, avec une part de 25%, après les chaudières à gaz (35%) et les chaudières à mazout (38%). Fin 2004, environ 87'000 PAC étaient en service en Suisse, avec une puissance thermique de 1'335 MW et une production annuelle de quelque 2'200 GWh de chaleur utile. Leur consommation électrique avoisinait les 700 GWh, ce qui équivalait à 1,3% de la consommation nationale, soit 5 fois moins que les chauffages à résistance électrique. Le potentiel reste considérable : selon le recensement de la population en 2000, la Suisse totalisait environ 800'000 chaudières à mazout, 200'000 chaudières à gaz et 170'000 chauffages à l'électricité. À travers le monde, plus de 100 millions de chauffages pourraient être remplacés par des PAC.

Objectifs techniques et économiques

En principe, toutes les PAC actuelles sont basées sur la même technologie. Pour exploiter le potentiel offert, différentes technologies répondant aux besoins de plus larges segments du marché sont nécessaires. Exemple : le compresseur Scroll à injection intermédiaire (de Copeland en 2005) fait aujourd'hui partie du marché de la rénovation. Le projet a été initié et cofinancé par l'OFEN.

S'agissant des bâtiments existants, l'exploitation des sources de chaleur doit être simplifiée, plus rapide et meilleur marché. Pour les rénovations, les coûts de l'ensemble du système doivent être réduits de moitié

en 10 ans. Quant aux bâtiments du futur (Minergie-P, maison passive), il manque encore quelques nouveaux systèmes de haute performance, en particulier pour les ventilations contrôlées. Les utilisations multiples (chauffage, refroidissement, eau chaude sanitaire, récupération de chaleur, déshumidification) gagnent en importance et nécessitent de nouveaux systèmes compacts, adéquats et optimisés.

Ainsi, les options principales de la recherche d'ici à 2011 sont les suivantes : augmentation de l'efficacité, optimisation des systèmes et standardisation. Les objectifs quantitatifs sont représentés en bref dans le tableau ci-après.

	1985	1995	2008	2025	2050
Source de chaleur air ; coefficient de performance annuel pour fonctionnement sur le terrain					
Bâtiment neuf	2,0	2,5	3,2	5,0	7
Rénovation	1,5	2,2	3,0	4,0	6
Eau chaude	1,5	2,0	2,7	4,0	6
Source de chaleur sol et eau ; coefficient de performance annuel pour fonctionnement sur le terrain					
Bâtiment neuf	2,2	3,0	4,5	6,0	8
Rénovation	2,0	2,8	3,5	5,0	7
Eau chaude	1,5	2,5	3,0	5,0	6

Tableau : données de référence illustrant l'augmentation escomptée de l'efficacité des pompes à chaleur.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Compte tenu de l'importance et du potentiel des PAC, les crédits alloués à la recherche sont trop modestes et doivent passer de 2 MCHF par an actuellement à 6 MCHF jusqu'en 2011. Par ailleurs, il faut maintenir les fonds consacrés aux projets P+D autour de 3 MCHF.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Augmentation de l'efficacité

- Passage aux nouvelles technologies : nouveaux circuits (surcritiques, à plusieurs niveaux, asservis à la charge), nouveaux fluides frigorigènes, effet magnéto-calorique.
- Développement de composants clés, en particulier pour les hautes températures (compresseur, soupape de détente, évaporateur).
- Fondements pour l'utilisation de matériaux diphasiques dans le stockage et la distribution de chaleur.

Optimisation des systèmes

- Considération globale du système «source de chaleur – pompe à chaleur – stockage de chaleur – distribution de chaleur» conjointement avec le bâtiment et son utilisation.

- Développement de systèmes à utilisations multiples (chauffage, eau chaude, refroidissement, récupération de chaleur, déshumidification).
- Réglage adaptatif, basé sur les prévisions.

Standardisation en vue de réduire les coûts

- Exploitation des sources de chaleur.
- Nouvelles voies pour l'installation du système de chauffage (*plug and play*). Cela s'applique en particulier aux systèmes à utilisations multiples.
- Miniaturisation au moyen de mini-compresseurs (*high speed*) et de micro-échangeurs de chaleur (*micro-channels*, nano-tubes) avec une puissance thermique inférieure à 5 kW pour intégration aux éléments du bâtiment.

BIOMASSE

État actuel

La complexité du domaine de la biomasse provient de la large palette d'offres de biomasse, de la multitude de technologies de conversion et de la polyvalence de l'énergie produite (chaleur, électricité et carburant). Cela crée de la concurrence, mais aussi des synergies lors de son utilisation. Compte tenu des aspects écologiques, le potentiel énergétique de biomasse utilisable à long terme (d'ici à 2040) se situe en Suisse vers 126 PJ par an (énergie primaire). Aujourd'hui, on en utilise à peine un tiers (38 PJ par an) pour produire de l'énergie, ce qui correspond à environ 4,1% de la consommation finale en Suisse. Sur ces 38 PJ, 92% servent à produire de la chaleur, 7% de l'électricité et 1% des carburants. La recherche suisse s'oriente principalement vers la mise en œuvre et, par sa mise en réseau internationale, elle concerne en particulier la combustion, la gazéification et la fermentation. À l'avenir, la collaboration internationale va encore gagner en importance.

Objectifs techniques et économiques

Le programme de recherche met l'accent là où existent d'énormes potentiels de biomasse non utilisés (exploitation agricole et forestière) ou d'optimisation, et là où l'on peut utiliser et développer les compétences professionnelles actuelles. Il doit viser une amélioration supplémentaire du rendement énergétique en regard des agents énergétiques non renouvelables, tout en réduisant au maximum les atteintes à l'environnement. Il faut donc poursuivre la recherche actuelle dans le domaine des nouvelles technologies pour une utilisation efficace, économe et écologique de la biomasse. Les fondements pour le développement de stratégies et l'identification d'effets de concurrence et de synergie entre les différentes formes d'utilisation de biomasse sont une nécessité absolue. Les lignes directrices de la recherche pour la biomasse sont les suivantes :

- utilisation maximale d'énergie primaire, en regard de l'énergie utile
- réduction des émissions, en particulier des polluants atmosphériques

- production d'énergie utile de haute valeur (exergie), là où cela est possible et judicieux
- promotion de technologies aussi simples et bon marché que possible, avec une bonne disponibilité
- fermeture des cycles de matière.

Le tableau ci-dessous représente la progression de la recherche pour les différentes technologies de conversion

	2008	2025	2050
Chaleur	↑	→	↓
Électricité	↑	↑	↑
Carburant	↑	↑	↑
Technologies de conversion			
	Chaleur	Électricité	Carburant
Combustion	√	√	
Gazéification	√	√	√
Pyrolyse			√
Pressage/extraction/ (estérification)	(√)	(√)	√
Fermentation alcoolique			√
Fermentation anaérobie	√	√	√

Tableau : développement escompté pour l'utilisation de la biomasse et technologies de conversion correspondantes.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Le programme se concentre sur la conversion efficace de la biomasse en chaleur, en électricité et en carburant. Il doit contribuer à réaliser un objectif à moyen terme, à savoir doubler l'utilisation actuelle de la biomasse à des fins énergétiques en Suisse. Il est conseillé d'augmenter les moyens engagés dans la recherche, de 5 MCHF par an actuellement, à 11 MCHF jusqu'en 2011, dont 3 MCHF par an seront consacrés à la mise en œuvre (installations P+D). Il convient en outre de renforcer la collaboration avec les pays voisins.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Optimisation et intégration des systèmes

- Amélioration de l'efficacité du système global (rendements, utilisation de la biomasse).
- Réduction des émissions (par exemple, particules, NO_x, ammoniac, etc.).
- Abaissement des coûts (par exemple, en intégrant les systèmes ou en tirant parti des synergies).
- Estimation complète de la chaîne de valorisation des diverses filières de biomasses.

Assurance qualité

- Fondements des mesures pour l'assurance qualité de procédés et technologies mûrs pour le marché.
- Standardisations.

Nouveaux procédés et nouvelles technologies

- Développement de nouveaux procédés et de nouvelles technologies.
- Essai en laboratoire et *upscaling*.
- Mise en œuvre, accompagnement scientifique, mesure et évaluation.

FORCE HYDRAULIQUE

État actuel

Selon la définition usuelle sur le plan international, la limite entre la grande et la petite hydraulique se situe vers 10 MW. Aujourd'hui, la recherche publique dans le domaine des grandes centrales hydrauliques est effectuée dans le cadre des projets d'innovation (CTI) ou par l'OFEN pour tout ce qui concerne la sécurité. L'économie privée exécute une grande partie des travaux. Depuis 1992, la Confédération soutient les petites centrales hydrauliques dont la contribution à la production d'électricité est depuis lors en constante augmentation. Plus de 1'000 installations produisent annuellement 3'400 GWh d'électricité, soit 5% de la production de courant en Suisse. À l'échelon mondial, la puissance installée croît chaque année d'environ 10'000 MW et atteint actuellement 760 TW.

Durant plusieurs décennies, l'industrie hydraulique a été une branche exportatrice importante avec des noms retentissants, comme Bell, Escher-Wyss, Ateliers mécaniques de Vevey, BBC et Sulzer. Suite au déclin de ces firmes, la Suisse possède encore son propre réseau de petites et grandes entreprises dans les domaines de planification, d'ingénierie, d'installations clés en main, de petites centrales hydrauliques sur les conduites d'eau potable, de réhabilitations, de rénovations des roues à aubes et d'ouvrages hydrauliques en acier.

Compte tenu de sa situation de pays alpin et hydro-électrique par excellence, la Suisse doit non seulement exploiter les potentiels encore disponibles, mais également renforcer ledit réseau. Il est nécessaire, tout à la fois, de garantir le savoir-faire pour ce qui touche aux grandes installations et d'entreprendre les mises à niveaux réalisables du parc installé. Par ailleurs, quelques projets sont réalisés avec des pays émergents, ce qui pose de nouveaux problèmes à la recherche.

Objectifs techniques et économiques

Comme les sites propices aux grandes centrales hydrauliques sont déjà très bien utilisés en Suisse, il faut continuer à optimiser encore leur fonctionnement, ce qui, avec l'apport des petits aménagements

hydroélectriques, qui subissent une plus forte pression des coûts, permettra de contribuer à l'accroissement de la production.

Certains projets se réalisent parfois seulement grâce à des **solutions allégées ou non conventionnelles** qui peuvent améliorer la rentabilité des installations existantes, notamment en ce qui concerne les centrales à basse pression, très sensibles aux coûts.

S'agissant des machines hydrauliques, qui ont déjà fait l'objet de recherches approfondies, les **innovations** restent possibles, par exemple, avec des modes de construction simplifiés, des possibilités de simulations optimisées et de nouveaux matériaux.

Il faut examiner de nouvelles mesures d'accompagnement, écologiques et efficaces, en vue de l'**acceptation** de nouvelles installations ou d'installations remises en service.

	2008	2025	2050
Petites centrales hydrauliques sur l'eau potable, infrastructures, installations industrielles	12	10	9
Rénovation de pico-centrales	14 – 22	12 – 15	11 – 13
Rénovations de 1 à 10 MW	10	10	10
Construction de nouvelles installations	15	22	30

Tableau : coûts de production [ct./kWh] dans l'utilisation de la force hydraulique, base 2007.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Si l'on veut développer des solutions novatrices pour les petits aménagements hydrauliques en vue d'exploiter les potentiels encore disponibles, et, pour ce qui est des grandes installations, si l'on veut accroître les connaissances et le savoir-faire, il faut porter les crédits alloués par les pouvoirs publics, de 3,5 MCHF actuellement, à 7 MCHF par année, dont un tiers devra être consacré aux projets P+D.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Construction d'ouvrages hydrauliques et de machines

- Optimisation des concepts de turbines : constructions standard, constructions simples, solutions pour systèmes fermés (eau potable et installations industrielles).
- Machines ouvertes à basse pression, installations immergées, installations à l'air libre, *kits* pour intégration simple dans les ouvrages hydrauliques existants, solutions nécessitant un minimum de travaux en profondeur.

Optimisation et intégration des systèmes

- Outils de simulation.
- Solutions et standards pour l'optimisation de l'exploitation et la commande à distance, systèmes de commande intégrés.
- Méthodes pour prévenir les coups de bélier.
- Nouveaux composants, tels que variateurs, actuateurs et grilles de retenue sans service d'entretien, capteurs fiables.

- Installations de pompage/stockage pour l'optimisation de l'exploitation et l'utilisation de synergie avec d'autres sources d'énergie renouvelables.

Mesures écologiques d'accompagnement

- Optimisation des échelles à poissons.
- Intégration à des projets de revalorisation écologique.
- Problématique des jets d'eau, d'abaissement du niveau et des eaux résiduelles.

Conditions-cadres

- Affinement des données sur l'état des lieux et les potentiels disponibles.
- Influence du changement de climat.

Assurance qualité

- Évaluation des risques.
- Lignes directrices de *best practice*.

GÉOTHERMIE

État actuel

La notion d'énergie géothermique comprend plusieurs ressources, très différentes les unes des autres en ce qui concerne l'utilisation et l'état de développement. Aujourd'hui, la technique des installations de sondes géothermiques verticales (SGV) est au point et les systèmes peuvent s'imposer sur le marché. En 2005, on a creusé environ 800'000 m pour des sondes géothermiques. Le succès des SGV sur le marché montre que les besoins de la recherche pour cette technique sont largement couverts. C'est pourquoi le soutien financier concerne avant tout les grandes installations complexes, en particulier pour le chauffage et pour le froid combinés.

Contrairement aux SGV, les sources hydrothermales n'existent que dans des régions spécifiques. Selon la température de l'eau, on peut utiliser la chaleur directement à des fins de chauffage ; si les conditions sont très favorables, on peut aussi produire de l'électricité. Vu le petit nombre de projets réalisés jusqu'à présent, il faut absolument promouvoir la recherche et les installations pilotes.

La troisième grande catégorie, l'*Enhanced Geothermal Systems* (EGS) offre un énorme potentiel en Suisse et à travers le monde. Les recherches ont débuté il y a plusieurs années déjà et ont débouché sur un premier projet pilote, le *Deep Heat Mining* (DHM), à Bâle. La mise en réseau internationale a également son importance, par exemple, par la participation de chercheurs suisses au projet européen EGS à Soultz-sous-Forêts, en France. L'extraction de chaleur d'une roche située à 5'000 m de profondeur est un énorme défi et nécessite des connaissances dans les disciplines les plus diverses.

Objectifs techniques et économiques

Le succès sur le marché et la pression sur les coûts pour les SGV requièrent des outils en vue de l'**assurance qualité**. Un objectif important consiste à améliorer l'**efficacité et la rentabilité** des installations complexes de SGV pour le chauffage et le froid.

S'agissant des sources hydrothermales, l'**amélioration de la base de données** doit contribuer à réduire

les risques d'exploitation. De nouveaux projets d'utilisation sont censés enrichir les expériences.

Quant à la production d'électricité à partir de chaleur géothermique à basse température, la **technologie de transformation** recèle un **fort potentiel d'optimisation** (efficacité +15% et rentabilité).

Parmi les nombreux défis de la technologie EGS, le **«reservoir engineering»** est capital. Il s'agit en l'occurrence de modélisation, stimulation et analyse micro-sismique. L'acquisition de ce savoir-faire doit s'appuyer sur une coordination internationale.

	2008	2025	2050
Frais de forage pour SGV peu profondes [Fr./m]	70	50	35
Coûts de production d'électricité EGS [ct./kWh]	25	15	< 10
Installations (pilotes) EGS et hydrothermales [-]	(1) en préparation [1]	5 [4]	> 50 [10]
Production d'électricité EGS et hydrothermale [GWh/a]	0	250	> 5'000
Statut technologie EGS	R&D, installations P+D	lancement sur marché	grandes installations

Tableau : développement escompté de la géothermie.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Le potentiel d'énergie géothermique (EGS et sources hydrothermales) doit être vérifié à l'aide d'installations pilotes. Pour les études préliminaires et les études de faisabilité, ainsi que pour l'accompagnement scientifique de ces installations, il convient d'augmenter les crédits engagés dans la recherche à 2 MCHF par an et de relever à nouveau ceux affectés aux projets P+D à 2 MCHF par an.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Sondes géothermiques et géostructures

- Procédés d'évaluation des installations (par exemple, tests de réponse, validation de modèles).
- Études sur le procédé à long terme des SGV, expériences de fonctionnement, contrôles des résultats.
- Études subventionnées visant à l'amélioration de l'efficacité et de la rentabilité des installations.

Enhanced Geothermal Systems (EGS)

- «*Reservoir engineering*» : procédés de stimulation, amélioration du flux de masse, procédés d'analyse (micro-sismique), modélisation de réservoir.
- Évaluation scientifique d'expériences et de résultats de mesures du projet pilote DHM à Bâle, en particulier aussi en tenant compte des événements sismiques induits par stimulation (c'est-à-dire par fracturation forcée).
- Technique des systèmes : optimisation des proces-

sus thermodynamiques, systèmes combinés et hybrides, procédés de pompage innovants et efficaces.

- Instruments de mesure pour haute température.
- Processus avec utilisation directe de la chaleur.
- Évaluation des futurs sites d'installations.

Sources hydrothermales et eaux des tunnels

- État des lieux et analyse des données disponibles sur les aquifères présentant un potentiel géothermique.
- Évaluation de sites possibles pour d'autres projets.
- Optimisation des procédés à basse température pour produire de l'électricité.
- Étude de nouvelles possibilités d'utilisation de la chaleur à basse température (par exemple, eaux des tunnels).
- Évaluation des expériences de fonctionnement.

ÉNERGIE ÉOLIENNE

État actuel

Entre fin 1999 et fin 2004, la puissance-crête totale installée du parc mondial d'installations éoliennes a plus que triplé en passant de 13'000 à 47'317 MW_c. Ces éoliennes produisent annuellement 91,7 TWh d'électricité tout en réduisant les émissions de CO₂ de plus de 68 millions de tonnes durant la même période. L'industrie éolienne fait un chiffre d'affaires annuel d'environ 8 G€, dont 84% en Europe. Fin 2005, on comptait en Suisse 31 éoliennes pour une puissance-crête globale de 11,59 MW_c et une production annuelle d'électricité d'environ 13 GWh (millions de kWh). Une industrie de sous-traitance s'est développée en Suisse : elle est active sur le plan international et fait un chiffre d'affaires annuel de quelque 170 MCHF. La recherche suisse fait partie d'un réseau international et s'intéresse en particulier aux installations dans les régions de montagne et dans les sites difficiles d'accès.

Objectifs techniques et économiques

Aujourd'hui, on trouve sur le marché des éoliennes techniquement au point avec des puissances-crête comprises entre 500 W_c et 5 MW_c pour des conditions standard. Les priorités de la recherche sont donc les suivantes :

- **Augmentation du degré d'acceptation** de l'utilisation de l'énergie éolienne en intégrant les compétences sociologique et écologique et, par là, en diminuant la durée de réalisation des projets.
- **Augmentation du nombre et de la production énergétique** des éoliennes sur des sites soumis à des conditions extrêmes (climat, turbulences, logistique).
- **Développement de composants d'installations** (technique des senseurs, nanotechnologie) pour l'utilisation par l'industrie indigène de l'énergie éolienne dans des conditions spécifiquement suisses.

- **«Valorisation» de l'énergie éolienne**, optimisation de l'intégration d'éoliennes dans la production d'électricité (prévisions, énergie de réglage).

	2008	2025	2050
Durée d'élaboration du projet/acceptation			
Projet (années)	2 – 7	1 – 2	< 1
Disponibilité/production énergétique			
Disponibilité	95%	98%	> 98%
Heures de pleine charge [h] pour installations > 100 kW sur des sites > 5 m/s	1'100	1'300	1'600
Coûts de production [ct./kWh]			
Coûts de production d'électricité en CH	12 – 20	12 – 15	11 – 13
Coûts de production d'électricité dans l'UE	6 – 12	4 – 10	3 – 9

Tableau : données de référence illustrant le développement escompté de l'énergie éolienne.

En complément, les projets P+D doivent permettre de réduire les entraves non techniques à une meilleure pénétration du marché par l'énergie éolienne et de combler le vide entre les activités de recherche proprement dites et l'application dans la pratique.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Compte tenu de l'importance du marché et des perspectives commerciales favorables pour les entreprises suisses, le crédit alloué à la recherche doit être relevé à 2 MCHF par an, alors que les projets P+D doivent bénéficier d'environ 1 MCHF par an. Certains aspects (par exemple, dans les domaines de l'acceptation et de l'économie énergétique) sont traités conjointement avec le programme «fondements de l'économie énergétique».

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Composants d'installations et installations

- Réduction des charges grâce à de nouveaux matériaux et à des pales de rotor «intelligentes».
- Augmentation de la production d'énergie sous des vents à basse vitesse.
- Amélioration de l'électronique de puissance/technique des senseurs.
- Recours à la nanotechnologie contre l'encrassement et le givrage.

Développement des compétences «Énergie éolienne en climat froid»

- Acquisition d'un savoir-faire pour les installations sur des sites à fortes turbulences, à basses températures et à logistique complexe (par exemple, en montagne).
- Optimisation de la modélisation éolienne sur un terrain difficile ou avec une forte irrégularité du sol.
- Tests sur des sites soumis à des conditions extrêmes.
- Évaluation des expériences de fonctionnement, recommandations.

- Développement des standards de gestion des risques pour projets éoliens.

Économie énergétique

- Prévisions et estimations rapides de la production d'énergie éolienne en vue de l'optimisation de l'exploitation du réseau.
- Régulation du réseau avec une part importante d'énergie éolienne – de concert avec la force hydraulique.
- Optimisation des conditions pour les installations à production intermittente dans le réseau.

Acceptation

- Identifier les facteurs et stratégies de succès, compte tenu de la protection du paysage et de l'environnement.
- Processus de planification locale, acceptation sociale.
- Modèles de participation publique.

5.3 Énergie nucléaire

TECHNIQUE ET SÉCURITÉ NUCLÉAIRE

État actuel

En Suisse, la recherche en énergie nucléaire (fission nucléaire) s'effectue presque exclusivement à l'Institut Paul Scherrer (PSI). Les travaux de recherche portent sur la sécurité (*Sicherheit – Safety*) de fonctionnement des centrales nucléaires en service en Suisse, les concepts novateurs de sécurité, l'utilisation optimale des combustibles nucléaires et les solutions à long terme pour la gestion des déchets radioactifs. Ils sont complétés par la recherche exploratoire sur les matériaux à haute température et la neutronique des réacteurs rapides, qui sont importants pour les futures centrales nucléaires et qui contribuent au développement durable, comme ceux élaborés dans l'initiative internationale dans le cadre de GIF (*Generation IV International Forum*). Ce programme, orienté vers des systèmes énergétiques efficaces et sûrs, requiert une expertise garantie à long terme sur des questions de systèmes complexes et à grande échelle. Il s'appuie essentiellement sur les grandes installations du PSI.

Objectifs techniques et économiques

S'agissant de la sécurité des centrales actuelles, le problème du vieillissement des installations nucléaires en Suisse a donné lieu à des études visant à déceler, dès qu'elles apparaissent, les fissures dues à la fatigue et à la corrosion. Par ailleurs, il faut déter-

miner la résistance à la corrosion sous contrainte dans les conditions de fonctionnement des centrales nucléaires. Les études du comportement des matériaux nucléaires ont également leur importance.

Concernant la gestion des déchets radioactifs, il convient de renforcer les bases scientifiques. Cela comprend aussi les travaux dans le domaine de la transmutation.

Quant aux futurs systèmes de réacteurs, il s'agit de confirmer les spécificités conceptuelles de systèmes de sécurité passifs pour les réacteurs à eau légère de haute technologie et pour les réacteurs refroidis au gaz intrinsèquement sûrs.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

L'énergie nucléaire reste une option pour l'approvisionnement énergétique suisse. Le PSI doit poursuivre sa recherche selon le concept nucléaire suisse tripartite qui comprend les autorités de sécurité, les exploitants de centrales nucléaires et les chercheurs du PSI. Les crédits des pouvoirs publics de 16 MCHF par an (sans la part réservée à la recherche réglementaire) doivent être maintenus à leur niveau actuel.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Sécurité des centrales nucléaires actuelles

- Examens post-irradiation des combustibles nucléaires (céramiques et gaines de combustibles).
- Analyse des dommages et identification des causes de défaillance.
- Mesure des données de base de physique des réacteurs concernant des assemblages de combustibles modernes et complexes pour la validation des codes neutroniques et pour la réduction des incertitudes dans les calculs.
- Développement, exploitation et entretien de systèmes de codes complets (neutronique couplée à la thermo-hydraulique et au comportement des combustibles).
- Création d'une banque de données pour des analyses de sécurité (analyses des transitoires, modélisation du comportement des combustibles) de toutes les centrales nucléaires suisses.
- Comportement des aérosols et de la chimie de l'iode (par exemple, après des accidents graves).
- Maintien de l'expertise pour les analyses probabilistes de sécurité (PSA), et plus précisément pour l'analyse de la fiabilité humaine.

Gestion des déchets radioactifs

- Étude des fondements de la chimie du stockage souterrain, de la chimie et de la physique des ra-

dionucléides au niveau des interfaces géologiques, ainsi que du transport des radionucléides.

- Analyses pour résoudre des questions fondamentales de géochimie.
- Caractéristiques de la liaison chimique entre les radionucléides et les minéraux naturels.

Futurs systèmes de réacteurs

- Tests à grande échelle et tests sur l'effet de séparation pour les phénomènes de confinement (écoulements avec bulles, mélange, stratification, etc.).
- Mise en œuvre des codes *Computer Fluid Dynamics* (CFD).
- Application des possibilités expérimentales actuelles aux questions des transitoires et du confinement dans les systèmes de réacteurs refroidis au gaz.
- Caractéristiques des matériaux appropriés pour l'utilisation à hautes températures et à grandes fluences de neutrons dans les futurs systèmes de réacteurs.
- Réactivation des compétences acquises concernant les analyses de sécurité de systèmes nucléaires avec spectres neutroniques rapides.

RECHERCHE RÉGLEMENTAIRE EN SÉCURITÉ NUCLÉAIRE (RECHERCHE SECTORIELLE DE L'ADMINISTRATION «RESSORTFORSCHUNG»)

État actuel

Dans le cadre de la recherche réglementaire en sécurité nucléaire, la Division principale de la sécurité des installations nucléaires (DSN/HSK) attribue et coordonne des mandats de recherche afin de déterminer et de développer, dans l'intérêt public, l'état actuel de la science et de la technique et de le mettre à disposition des tâches de surveillance. Les problèmes concrets de sécurité technique concernant les installations en service ainsi que les problèmes et phénomènes génériques relevant de la sécurité nucléaire peuvent servir de déclencheurs de projets de recherche. La recherche réglementaire en sécurité nucléaire couvre les besoins spécifiques de la surveillance légale et se distingue, par conséquent, de la recherche en matière de sécurité, qui poursuit également des objectifs purement **scientifiques et commerciaux**.

Pour concrétiser les projets de recherche, la DSN/HSK mise sur la collaboration internationale et exploite les possibilités de synergie. Dans notre pays, les échanges réciproques d'expérience et de savoir créent aussi les compétences nécessaires pour maintenir la surveillance en matière de sécurité à un niveau élevé. Une grande partie de la recherche réglementaire en sécurité nucléaire est associée aux travaux du PSI sur la technique nucléaire et la sécurité nucléaire.

Objectifs techniques et économiques

Bien que la loi sur l'énergie nucléaire ne stipule pas la durée restante d'exploitation des centrales nucléaires actuelles, leur mise hors service interviendra dans un proche avenir. Dans ce contexte, la DSN/HSK doit veiller au respect des dispositions légales pour l'exploitation des centrales nucléaires suisses, évaluer leur processus de vieillissement et accompagner leur démantèlement. À l'avenir, la DSN/HSK devra en particulier fixer la date de désaffectation et traiter les questions de sécurité et d'investissements pendant les dernières années d'exploitation. Au vu de ces défis, les grandes options de la recherche toucheront les domaines suivants :

Recherche sur les matériaux : il est impossible de changer la cuve du réacteur ou l'enceinte de confinement d'une centrale nucléaire actuelle. Dans l'optique de la technique de sécurité, c'est donc leur état qui est le facteur déterminant pour la durée de vie totale

de la centrale. Les méthodes de démonstration sont censées montrer si les marges de sécurité sont suffisantes en tout temps et dans tous les modes de fonctionnement.

Interactions homme, organisation et technique : dans le cadre de sa stratégie de surveillance intégrée, il importe que la DSN/HSK considère les installations nucléaires comme des systèmes et qu'elle prête toute l'attention nécessaire aux critères techniques de sécurité, mais également aux facteurs humains et organisationnels. La difficulté réside dans le fait qu'il existe peu de normes rigoureuses et de critères d'évaluation clairs.

Problématique en rapport avec la gestion des déchets radioactifs : la Confédération s'est fixé pour objectif stratégique de trouver des solutions responsables pour ladite gestion. Dans ce processus, la tâche de la DSN/HSK consiste à évaluer les solutions proposées au niveau de la sécurité.

Technologie de sécurité des nouveaux réacteurs nucléaires : en Europe, la mise en service des nouveaux réacteurs nucléaires dits de «génération III+» est attendue dans quelques années. Les nouveaux concepts, comme les systèmes de sécurité passifs, et la nouvelle technologie, comme le cendrier (ou *core catcher*) pour la récupération d'un cœur fondu dans l'enceinte, s'appliquent déjà à l'EPR (*European Pressurized Reactor*), réacteur à eau pressurisée, très sophistiqué, actuellement en construction en Finlande et planifié en France. Il incombe à la DSN/HSK d'évaluer la sécurité des nouveaux réacteurs, mais aussi l'utilisation de nouvelles technologies de sécurité en vue d'améliorer les installations nucléaires en service.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

L'industrie électrique profite aussi de la recherche réglementaire en sécurité nucléaire (allongement des durées de vie, **rétrécissement des marges de sécurité**). En général, elle cofinance aussi les projets. Si l'on veut préserver **l'indépendance de la recherche, des crédits publics adéquats sont incontournables**. Il convient donc de maintenir ces derniers à leur niveau actuel de 7 MCHF par an.



LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Matériaux dans le circuit primaire et l'enceinte de confinement

- Comportement sous des conditions extrêmes.
- Détection précoce des défauts de matériel.

Facteurs humains, organisationnels et techniques

- Études visant à fixer les normes et critères d'évaluation.

Gestion des déchets radioactifs

- Développement de méthodes optimisées pour l'analyse de la sécurité et scénarios.

Nouveaux réacteurs nucléaires

- Développement de méthodes d'analyse pour les nouvelles technologies de sécurité.

FUSION NUCLÉAIRE

État actuel

Avec ITER, la recherche internationale en fusion nucléaire veut prouver la faisabilité technologique de l'utilisation de l'énergie résultant de la fusion nucléaire. Jusqu'au milieu du siècle au plus tard, DEMO devra démontrer son utilité commerciale. Parallèlement à la construction d'ITER, le «tokamak à configuration variable» (TCV) expérimental de l'EPFL devrait être en service au moins jusqu'en 2013, afin d'examiner et d'optimiser les concepts, les composants et les systèmes dans l'optique de l'utilisation d'ITER ou de DEMO. La recherche suisse en fusion nucléaire est surtout active dans l'étude du confinement magnétique du plasma et de certaines technologies nucléaires (couplage d'énergie, supraconduction et science des matériaux).

Objectifs techniques et économiques

La construction d'ITER permet de réaliser un *scale-up* constructif et technologique. Sa durée d'exploitation d'une vingtaine d'années sera utilisée pour les optimisations scientifiques et technologiques dans la perspective de DEMO. Les jalons techniques de la réalisation d'ITER comprennent la quasi-totalité des composants d'un réacteur de fusion, par exemple, le volume du plasma, le couplage d'énergie, la supraconduction, y compris la technique cryogénique, l'entretien à distance, la technique de mesure et de réglage et les matériaux. La Suisse poursuivra ses recherches essentiellement dans les domaines de la production et de la maîtrise du plasma, de la supraconduction et des matériaux nécessaires. En contribuant au développement hautement technologique d'ITER, l'industrie suisse profitera aussi d'un transfert de technologie non négligeable. Les grandes options spécifiques de la recherche suisse sont les suivantes :

- **Travaux théoriques** pour comprendre les turbulences et les perturbations du plasma du tokamak.
- **Recherche sur les matériaux** pour la conception des composants structurels et irradiés.
- **Confinement magnétique** (supraconducteurs, y compris la technique cryogénique).
- **Chauffage du plasma** à l'aide de couplage d'énergie externe.

- **Technologie de mesure et de réglage** pour le fonctionnement d'un réacteur de fusion en régime continu.

Jalons de la recherche en fusion [P _{fus}]	
1991	1,7 MW
1994	10 MW
1997	16 MW
2015 – 2020 (ITER)	500 – 700 MW
2035 – (DEMO)	2'000 – 2'500 MW (P _{électrique} = 750 – 1'000 MW)

Tableau : progrès de la recherche en fusion (puissance).

Principales données prévues concernant ITER	
Puissance de fusion totale P _{fus}	500 MW
Renforcement de puissance Q (= P _{fus} /P _{chauffage})	> 10
Hauteur de réacteur x diamètre de réacteur	26 m x 29 m
Volume du plasma	837 m ³

Tableau : ITER représente une discontinuité quantique sur les plans technique et physique.

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Grâce à ses succès, la Suisse peut poursuivre son importante contribution à la recherche européenne sur la fusion nucléaire. Pour l'industrie suisse, ITER représente une occasion unique de renforcer ses compétences grâce aux attributions de mandats et au transfert de technologie. Compte tenu des objectifs fixés, **il faut maintenir l'effort financier actuel de 25 MCHF par an**, tout en maximisant le "retour" des moyens provenant de l'UE.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Fondements

- Travaux pour l'approfondissement des connaissances en physique des plasmas. Participation active aux études JET et optimisation du TOKAMAK japonais à supraconducteurs. But : préparation de l'exploitation d'ITER.

Technologie

- Perfectionnement du couplage d'énergie externe avec l'*Electron Cyclotron Radiation Heating* (ECRH) et développement d'un prototype d'*upper launcher*. But : fabrication de l'ECRH avec des antennes conformes aux spécifications d'ITER.
- Procédure d'essai pour les supraconducteurs d'ITER. But : assurance qualité complète des supraconducteurs d'ITER ainsi que développement de supraconducteurs pour DEMO.

- Perfectionnement de mécanismes de réglage et de composants de diagnostic pour ITER. But : systèmes de mesure et de réglage pour fonctionnement en mode quasi-continu.
- Analyse des surfaces pour déterminer leur résistance au plasma. But : développement de surfaces résistant au plasma (important lors du fonctionnement).
- Matériaux qui satisfont aux exigences en matière de structure et de rayonnement d'un réacteur de fusion ; collaboration à la conception et à la réalisation de l'*International Fusion Material Irradiation Facility* (IFMIF). But : fondements pour la procédure de *small sample test*.

5.4 Fondements de l'économie énergétique

État actuel

Les fondements de l'économie énergétique sont censés démontrer avec quels instruments de politique énergétique et avec quelles conséquences socio-économiques on peut garantir un approvisionnement sûr et durable en énergie dans le sens d'une «société à 2'000 watts». Le programme de recherche est divisé en deux domaines : recherche sectorielle et recherche fondamentale, mais la transition entre ces deux domaines s'effectue sans problèmes.

La recherche sectorielle s'occupe en particulier des questions économiques et sociales en rapport avec la production, la distribution et l'utilisation d'énergie que l'Office fédéral de l'énergie doit prendre en compte pour élaborer ses mesures.

Objectifs de la recherche fondamentale

Le développement de méthodes de modélisation, la problématique du comportement de l'individu et de la société et de l'impact des mesures de politique énergétique, ainsi que la meilleure compréhension des processus d'innovation en matière d'énergie sont les objectifs de la recherche fondamentale suisse, coordonnés à l'échelon de l'UE. Concrètement, les domaines de recherche projetés sont les suivants :

Il faut remettre en question les **modèles** actuels et améliorer leur pertinence de manière ciblée. Par ailleurs, ces modèles doivent être également perfectionnés de manière ciblée : il s'agit, d'une part, d'intégrer de nouveaux facteurs, tels que les progrès technologiques («endogénéisation») ; d'autre part, les modèles techniques de systèmes énergétiques (modèles *bottom-up*) doivent être associés aux modèles économiques d'équilibre. Il convient, en outre, de créer de nouveaux modèles, par exemple, pour les prévisions de la recherche, qui permettent de prendre en compte et de quantifier l'utilité socio-économique (effets sur l'emploi, etc.) de l'innovation dans les technologies énergétiques. Sur cette base, il faut développer une méthode qui permette d'évaluer de manière optimale les projets de recherche sur le plan socio-économique, projets orientés vers les objectifs d'une «société à 2'000 watts».

Le **comportement de l'individu et de la société** doit être examiné en vue du développement de nouveaux

instruments de politique énergétique et être pris en compte de manière ciblée lors de l'élaboration de nouveaux outils et mesures. Il s'agit aussi d'étudier l'influence de l'acceptation d'instruments ou de technologies. À côté des théories économiques, la socio-psychologie et les aspects politologiques jouent un rôle de plus en plus important dans ce domaine.

L'effet de rebond mérite une attention toujours plus grande. Par effet de rebond, on entend l'économie d'énergie pour une certaine application ou prestation énergétique, mais qui est compensée par un surplus de consommation d'une autre application. Cela peut être dû à des raisons économiques ou socio-psychologiques : grâce aux économies d'énergie, le ménage dispose de davantage d'argent pour d'autres applications (énergétiques), ou bien grâce à une meilleure conscience écologique par rapport à la première application, on a le droit de «pécher» davantage pour la seconde application (compensation de la conscience).

Le **processus d'innovation**, de la recherche à la mise en place sur le marché, doit être analysé et influencé positivement. En l'occurrence, il importe d'identifier les entraves et de développer des concepts pour les éliminer. Le point de vue socio-économique est alors au premier plan. Il faut notamment répondre à la question de savoir à quelles conditions les résultats de la recherche deviennent une «*success story*», quels obstacles empêchent les résultats de la recherche de se transformer en résultats sur le marché, et comment ils peuvent être influencés. Quelle tâche les acteurs privés (industrie, entreprises financières, etc.) doivent-ils assumer dans le processus d'innovation et quel rôle doivent jouer les institutions étatiques pour créer des conditions-cadres favorables à l'innovation et à sa réalisation ?

Moyens financiers à mettre en œuvre jusqu'en 2011

Si l'on veut créer à long terme les bases de décision socio-économiques nécessaires à la politique énergétique, il paraît indiqué de maintenir au même niveau le crédit annuel de 9 MCHF alloué actuellement aux travaux de recherche sur les fondements de l'économie énergétique.

LES POINTS CLÉS DE LA RECHERCHE 2008 – 2011

Perfectionnement des modèles de perspectives

- Remise en question critique, amélioration de la pertinence.
- Combinaison des modèles *bottom-up* et *top-down*.
- Méthode pour l'évaluation des projets de recherche.
- Contributions et implication dans les éco-inventaires.

Méthodes pour analyser l'efficacité des instruments politiques

- Acceptation, réactions de l'individu et de la société aux instruments et aux nouvelles technologies.
- Socio-psychologie, influence du comportement de l'individu et de la société (encouragement de la

conscience et de la morale écologiques ; effets de rebond).

- Évaluation des mesures de politique énergétiques sous l'angle de la durabilité.

Analyse du processus de mise en œuvre des résultats de la recherche sur le marché

- Barrières dans le processus, les mesures pour les éliminer.
- Conditions-cadres pour la réussite de la mise en œuvre des résultats de la recherche et pour leur amélioration.

6. Attribution des crédits 2008 – 2011

L'attribution des crédits selon les grandes options de la recherche décrites au chapitre 5 repose sur les hypothèses suivantes (la base étant l'année 2005) :

- En dépit de la situation financière précaire de tous les organes pouvant assurer un soutien financier, il a été possible de stopper temporairement la baisse des crédits, constante depuis 1992, à 180 MCHF par an. Suite à la suppression de la majeure partie des ressources allouées aux projets P+D par l'OFEN (mise en œuvre des programmes d'économies de la Confédération), le budget s'inscrit à nouveau en recul depuis 2004. Cependant, une nouvelle hausse se profile grâce à l'augmentation des efforts consentis dans le Domaine des EPF. **Il faut prévoir un accroissement d'environ 25% des aides publiques actuelles pour atteindre les 200 MCHF en 2011**, ce qui correspond à une progression annuelle de 6%, comme cela est prévu dans le «*Message FRI (formation, recherche et innovation) 2008 – 2011*» du Conseil fédéral en faveur de la recherche en Suisse.
- Les bailleurs de fonds actuels continueront à soutenir la recherche énergétique et à contribuer au développement de ses activités.
- Dans le futur, les contributions provenant des crédits de l'UE atteindront toujours au moins le niveau de financement assuré actuellement (soit au moins 20 MCHF par an), en y incluant l'ensemble des projets relevant de l'énergie dans d'autres programmes.
- L'étroite collaboration entre les instances de financement de la recherche des collectivités publiques et celles de l'économie énergétique se poursuit. Le soutien apporté à la recherche par les programmes et par les fonds de recherche du secteur privé augmente.
- Comme c'est le cas aujourd'hui, on admet qu'il faut **affecter une part de 20% à la recherche fondamentale orientée**.
- On vise également à **allouer une part de 20% au soutien de projets pilotes et de démonstration ainsi qu'à la recherche accompagnant ces projets**. Les fonds de l'OFEN enregistrent à nouveau une progression. De plus, on attend des Cantons, des Communes et du secteur privé qu'ils s'engagent davantage. Il est cependant indispensable de reconstruire les activités de coordination de l'OFEN dans le domaine P+D.

Le tableau à la page 37 présente les valeurs cibles de l'attribution des crédits en 2011 (voir aussi à ce sujet la figure 1 présentée dans le résumé à la page 5). Le tableau présente aussi des propositions pour les cas où des restrictions budgétaires se révéleraient indispensables ou, à l'inverse, si des crédits supplémentaires pouvaient être disponibles. Il s'agit, **par rapport aux valeurs indicatives pour 2011** :

En cas d'augmentations budgétaires :

→ pas d'augmentation des moyens prévus

↑ financement supplémentaire modéré

En cas de restrictions budgétaires :

→ pas de réduction des moyens prévus

↓ réduction modérée des moyens prévus

Ces valeurs prévisionnelles – en plus ou en moins – ne donnent aucune indication sur les priorités des domaines de recherche, car elles tiennent compte de la capacité des groupes de recherche en place dans leurs domaines.

Une partie du budget de l'OFEN est également consacrée au financement de la **recherche sectorielle de l'Administration** («*Ressortforschung*» au sens restreint du terme) **mise en œuvre par l'OFEN pour ses propres besoins**. Ce sont ainsi quelque **5 MCHF** par an qui sont répartis entre les *Fondements de l'économie énergétique* à hauteur d'environ 40%, d'une part, et la *Recherche réglementaire en matière de sécurité dans le domaine de l'énergie nucléaire* et de la *Force hydraulique* à hauteur d'environ 60%, d'autre part.

Domaines de recherche et leur subdivision	Répartition des crédits				Adaptation ¹⁾ en cas de			
	2005 (MCHF)		2011 (MCHF)		réduction de budget		hausse de budget	
	R+D	P+D	R+D	P+D	R+D	P+D	R+D	P+D
Utilisation efficace de l'énergie	50,7	3,5	56	16				
Bâtiments	5,4	1,7	6	3	→	→	→	↑
Transports	3,1	0,7	3	3	→	→	↑	→
Accumulateurs et supercondensateurs	8,9	0,1	8	2	→	↓	→	→
Technologie et utilisations de l'électricité	7,3	0,1	7	2	→	→	↑	↑
Réseaux	2,7	–	5	–	↓		→	
Couplage chaleur-force	1,3	0,3	1	1	→	→	→	→
Combustion	10,4	0,5	10	2	↓	→	→	→
Centrales à gaz 2020	1,7	–	3	–	→		→	
Piles à combustible	6,1	0,1	8	2	→	→	→	→
Technologie des procédés	3,9	0,1	5	1	→	→	↑	↑
Sources d'énergie renouvelables	34,4	8,4	50	20				
Solaire thermique (y compris stockage)	7,3	0,5	7	4	→	↓	→	→
Photovoltaïque	10,6	0,8	12	3	↓	→	→	→
Utilisation industrielle de l'énergie solaire	4,8	0,0	5	1	→	→	↑	↑
Hydrogène	2,1	0,4	3	1	→	→	→	↑
Chaleur ambiante (pompes à chaleur)	1,8	3,7	6	3	→	→	→	↑
Biomasse (bois, déchets, boues d'épuration)	4,2	1,0	8	3	→	→	↑	↑
Géothermie	0,8	0,9	2	2	→	→	→	↑
Énergie éolienne	0,3	0,3	2	1	↓	→	→	→
Force hydraulique	2,4	0,8	5	2	→	→	→	↑
Énergie nucléaire	47,2	0,6	47	–				
Fission nucléaire	21,9	0,6	22		↓		→	
Technique et sécurité nucléaire	15,0	0,6						
(dont déchets radioactifs)	(5,1)	(0,1)						
Recherche réglementaire en matière de sécurité	6,9	–						
Fusion nucléaire ²⁾	25,2	–	25		↓		→	
(dont physique des plasmas, méthodes de chauffage, technologie de la fusion,	(23,4)	–						
(dont contributions pour l'intégration internationale)	(1,8)	–						
Fondements de l'économie énergétique	10,9	0,1	11	1				
Fondements de l'économie énergétique (économie, société, environnement)	9,1	–	9		→		→	
Transfert technologique	1,8	0,1	2	1	→	→	→	→
Totaux	143,2	12,6	164	37				
	155,9		201					

1) par rapport aux valeurs de planification pour 2011

2) les travaux dans le domaine de la fusion nucléaire sont fortement enracinés dans la recherche fondamentale ; en accord avec la pratique internationale, ils sont cependant aussi comptés en Suisse dans la recherche énergétique.

Tableau : attribution des crédits pour la recherche énergétique provenant des pouvoirs publics (valeurs effectives pour 2005 et valeurs indicatives pour 2011) et adaptation desdits crédits en cas de modification budgétaire.

R+D : recherche et développement

P+D : projets pilotes et de démonstration

Annexes

A.1 Situation de la recherche énergétique

A.1.1 QU'EST-CE QUE LA RECHERCHE ÉNERGÉTIQUE ?

Au sens large du terme, la recherche énergétique englobe l'élaboration et la mise en pratique, sur une base scientifique, de connaissances techniques, économiques et socio-politiques utiles pour, d'une part, maintenir la demande d'énergie actuelle et future à un niveau aussi bas que possible et, d'autre part, la satisfaire d'une manière rentable, écologique et efficace.

La recherche énergétique soutenue par les pouvoirs publics couvre presque tout le spectre entre la recherche fondamentale et la commercialisation d'un produit. L'accent y est cependant mis sur la recherche appliquée, dont **les résultats doivent se traduire par des produits, des installations, des matériaux et des procédés, etc.** La recherche énergétique débute donc dès lors que des aspects de la recherche fondamentale annoncent un potentiel d'exploitation pour la technique énergétique. Ainsi, la démonstration et le développement de procédés et d'installations peuvent parfaitement se recouper avec la recherche fondamentale proprement dite. Citons, à titre d'exemple, la fusion nucléaire et la chimie solaire, dont les résultats finaux sont encore incertains, mais qui ne sont porteuses de progrès que par le biais de projets pilotes. Dans d'autres secteurs, par exemple, le développement de cellules photovoltaïques, il y a des interactions étroites entre le développement de produits existants et la recherche fondamentale qui se poursuit.

Les installations pilotes et de démonstration (P+D) sont un élément indispensable de la recherche énergétique ; elles accélèrent la mise en œuvre des résultats dans la pratique. Étant donné leur proximité du marché, il est absolument nécessaire que l'industrie et les arts et métiers participent financièrement à leur réalisation pour que les pouvoirs publics leur accordent un soutien financier. Cette participation incite les entreprises à

aborder un projet de manière plus critique et augmente les chances que l'économie privée se charge elle-même du transfert technologique. Le même principe prévaut s'agissant des contributions accordées au développement initial de produits.

Enfin, **la commercialisation d'un produit comporte, elle aussi, une part de recherche.** Il s'agit là surtout de questions de perception dans le public, d'incidences sur l'environnement et d'intégration économique, ainsi que de problèmes sociologiques, qui viennent se greffer sur les questions purement techniques.

À eux seuls, les progrès technologiques ne suffisent pas pour atteindre les objectifs de politique énergétique. Il est nécessaire de les accompagner de décisions entrepreneuriales et privées qui seront à leur tour influencées par d'autres mesures politiques et économiques. Il faudra donc que **la recherche énergétique soit plus attentive aux interdépendances dans notre société** – par exemple, à la relation entre la consommation d'énergie et les nuisances infligées à l'environnement par le trafic routier et l'agriculture, ou aux retombées de l'aménagement du territoire sur la demande d'énergie.

De par sa nature, la recherche énergétique est inter- et transdisciplinaire. Elle fait appel, tout à la fois, aux sciences de l'ingénieur, comme la construction de machines et l'électrotechnique, à la physique, à la chimie, aux sciences des matériaux, à la biologie, à la théorie des systèmes et à l'informatique, ainsi qu'à l'économie, à l'écologie, à la politologie et à la sociologie. Il en résulte souvent des synergies profitables, notamment en Suisse, lorsque les moyens financiers limités font en sorte que ce ne sont pas seulement les mêmes instituts, mais encore les mêmes personnes qui s'occupent à la fois de recherche énergétique et de recherche dans d'autres domaines.

A.1.2 BASES LÉGALES

La Confédération fonde son aide directe à la recherche énergétique sur les lois suivantes :

- **loi sur l'énergie nucléaire** (art. 86) du 21.3.2003 ;
- **loi sur la recherche** du 7.10.1983 ;
- **loi sur l'énergie** (art. 12) du 26.6.1998 ;
- **loi sur le CO₂** du 8.10.1999.

Aux niveaux constitutionnel et législatif, la Confédération dispose par ailleurs de nombreuses compétences, applicables au domaine énergétique, qui permettent d'encourager la recherche (par exemple, la législation sur la protection de l'environnement ou la loi sur l'approvisionnement du

ronnement ou la loi sur l'approvisionnement du pays).

En outre, la Confédération intervient en grande partie indirectement par des contributions au Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS), aux Hautes Écoles cantonales (Universités et HES), aux Programmes-cadres de recherche, de développement technologique et de démonstration (PCRDT) de l'Union Européenne, ainsi que par le financement de la recherche relevant du Domaine des EPF. Certains offices fédéraux assurent un soutien direct ciblé, notamment l'OFEN, qui assume tout à la fois une fonction de conduite.

L'article sur l'énergie inscrit dans la Constitution fédérale permet à la Confédération de promouvoir le **développement de techniques énergétiques et d'installations pilotes et de démonstration (P+D)**, en particulier dans le domaine des économies d'énergie et dans celui de l'utilisation des sources d'énergie renouvelables. La loi sur l'énergie avec ses ordonnances ont établi une base juridique claire dans ce sens.

A.1.3 CONDITIONS-CADRES

L'article constitutionnel sur l'énergie fixe **les grandes lignes de la recherche énergétique** financée par les pouvoirs publics, à savoir «**créer les conditions propices à un approvisionnement énergétique suffisant et sûr, économique et ménageant l'environnement, ainsi qu'à une utilisation économe et rationnelle de l'énergie**». S'applique également la **Stratégie 2002 pour le développement durable** du Conseil fédéral selon laquelle la politique énergétique et climatique doit s'orienter vers une «société à 2'000 watts» et des émissions d'une seule tonne de CO₂ par habitant et par an. Par ailleurs le Conseil fédéral a défini le 21 février 2007 de **nouveaux principes pour la politique énergétique**. Cette stratégie repose sur quatre piliers:

- **Efficacité énergétique** : la principale mesure visant à assurer notre approvisionnement énergétique futur est l'utilisation économe des ressources énergétiques. Il est possible de l'appliquer sans perte de confort grâce aux nouvelles technologies et à un comportement de consommation rationnel. Par ailleurs, la hausse de l'efficacité énergétique contribue à améliorer la compétitivité de l'économie suisse et à développer un marché pour les technologies à haut rendement énergétique.
- **Sources d'énergie renouvelables** : il faut conserver sur le long terme la force hydraulique comme principale énergie renouvelable indigène pour la production de l'électricité. De plus, elle doit être développée modérément en prenant en considération les objectifs de protection des eaux et de l'environnement. La part des autres sources d'énergie renouvelables intervenant dans la production d'électricité doit être accrue de manière à ce que la Suisse dispose d'un *mix* énergétique économiquement optimal et largement diversifié en matière d'électricité, mais aussi de chaleur et de mobilité.
- **Centrales électriques** : le Conseil fédéral préconise les centrales à gaz à cycle combiné (CCC) uniquement comme stratégie transitoire pour faire face à la pénurie d'électricité. Le Conseil fédéral continue à miser sur l'énergie nucléaire. Il estime qu'il est nécessaire de remplacer les centrales nucléaires existantes ou d'en construire de nouvelles.
- **Politique énergétique étrangère** : le renforcement de la collaboration internationale, en particulier avec l'UE, constitue un autre pilier de la stratégie énergétique.

Une étroite collaboration entre la recherche énergétique et le **Programme SuisseEnergie** en vue de la réalisation des buts de ce dernier se poursuit dans un cadre solidement établi.

Les **Cantons** peuvent grandement contribuer à la recherche énergétique dans le cadre des travaux conduits par les Universités et les Hautes Écoles spécialisées. Plusieurs d'entre eux ont en outre inscrit dans leurs lois le soutien à la réalisation d'installations P+D.

L'**orientation politique en matière de recherche** est définie dans le *Message relatif à l'encouragement de la formation, de la recherche et de l'innovation pour les années 2008 – 2011* («**Message FRI**») du Conseil fédéral. Selon ce Message FRI, les objectifs suivants doivent être poursuivis :

- affirmer la position de la Suisse en tant que laboratoire d'idées et pôle économique reconnu dans le monde ;
- positionner la recherche suisse à la pointe des domaines d'avenir ;
- encourager la relève scientifique ;
- faire des Écoles polytechniques fédérales et des autres établissements de recherche du Domaine des EPF des institutions de pointe de renommée internationale ;
- développer la formation professionnelle et les Hautes Écoles spécialisées, créatrices d'une base professionnelle et technique solide et proche de la pratique ;
- développer la coopération internationale, gage d'ouverture et d'assurance de la qualité.

La mise en place en Suisse d'un système énergétique durable est un processus de longue haleine, qui prendra plusieurs générations. Autrement dit, ce processus échappe au cadre habituel de la planification politique ou sociale. La recherche énergétique nécessite donc une stratégie à long terme, indépendante des velléités politiques à court terme. Les objectifs à long terme sur lesquels repose le présent *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2008 – 2011* et la stratégie qui en découle sont décrits aux chapitres 3 et 4, ainsi que dans l'annexe A.2.

Aussi bonne soit-elle, la recherche énergétique ne peut à elle seule atteindre ces objectifs. Au contraire, l'évolution des besoins énergétiques ainsi que celle de l'apport respectif des diverses ressources dépendront de différents facteurs, en particulier :

1. de la recherche et du développement technologiques dans les sciences naturelles
2. de la mise en application des résultats et de leur commercialisation sur le marché (compte tenu de la recherche socio-économique)
3. de facteurs économiques, en particulier du prix des ressources et du travail
4. de conditions-cadres écologiques
5. du cadre politique (lois, ordonnances, impôts et taxes)
6. de la conception des valeurs sociales (style de vie).

Le présent *Plan directeur* couvre essentiellement le point 1, et traite en partie le point 2. Or il serait erroné de perdre de vue les autres points, d'autant que le marché n'obéit pas uniquement à la loi du moindre coût. Dans bien des cas, des avantages réels en termes de coûts (par exemple, des mesures visant à accroître le rendement énergétique) sont ignorés et restent donc inexploités. Souvent, des décisions reposant sur des considérations économiques sont reléguées après une meilleure durabilité, en raison d'un atout immatériel. Ainsi, des facteurs économiques (points 3 et 4) interviennent également dans le domaine de la RD&D énergétique.

En outre, le cadre politique (point 5) doit être respecté. Il est le fruit d'une volonté politique qui, à son tour, peut s'appuyer sur les solutions techniques avérées. Dernier point, les valeurs sociales dominantes (point 6) s'orientent sur des informations et des thèmes à la mode et donc souvent éphémères. Or, d'une part, cette évolution est souvent bien plus rapide que celle des technologies ; d'autre part, l'évolution sociale est difficilement contrôlable ou même prévisible, si bien qu'il est malaisé d'en tirer parti pour instaurer un système énergétique durable. Pour les raisons précitées, il importe de constamment rapporter la recherche et son transfert au cadre politique et au contexte social, et d'influencer ceux-ci en menant une **politique d'information offensive**.

A.1.4 ACTEURS ET ORGANISATION

L'OFEN a pour tâche, avec le concours de la **Commission fédérale pour la recherche énergétique CORE**, d'élaborer et de renouveler en permanence le **Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération**, d'**orienter la recherche et de l'encourager** en fonction de ce *Plan*, de **coordonner les programmes et les projets** de recherche énergétique avec d'autres travaux de recherche et de **les intégrer dans les programmes internationaux**, et enfin de **favoriser le transfert des résultats dans la pratique**. À cet effet, l'OFEN a **réparti la recherche énergétique en une vingtaine de domaines technologiques**. Un autre domaine non technologique est consacré aux questions socio-économiques. Chaque domaine est dirigé par un responsable de domaine à l'OFEN et comporte un programme de recherche et développement (R&D) et un programme pour des projets pilotes et de démonstration (P+D), ainsi que des programmes de mise en œuvre et de marketing (voir annexe A.5). Chaque programme est placé sous la responsabilité d'un chef de programme ; il n'est pas rare que le responsable du domaine à l'OFEN assume lui-même la direction de l'un ou de tous les programmes de son domaine.

Outre les chefs de programme, des experts assistent le responsable du domaine à l'OFEN (groupes de suivi). Ensemble, ils élaborent – en se fondant sur le présent *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération* et compte tenu du contexte politique et économique – un **plan d'exécution détaillé pour leur domaine** à l'OFEN. À côté de la recherche, les responsables de domaine à l'OFEN sont chargés de la commercialisation et du soutien au marché. Les activités s'y rapportant et visant principalement à augmenter la demande, sont menées essentiellement sous l'égide du **Programme SuisseEnergie** de concert avec des organisations privées (réunies au sein d'agences). Au nombre des agences partenaires figurent l'Agence de l'énergie pour l'économie (AEnEC), l'Agence des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique (AEE), l'Agence de l'énergie pour les appareils électriques (eae) et l'Agence suisse pour l'efficacité énergétique

(S.A.F.E.). SuisseEnergie soutient aussi des mesures promotionnelles indirectes, comme la formation et le perfectionnement, les conseils, la planification, l'élaboration de bases de décision ou les mesures portant sur la qualité. Le programme soutient tant le transfert des techniques énergétiques durables que les conventions, les valeurs cibles en matière de consommation, les certificats et les prescriptions. Quant aux programmes d'aide directe dans le secteur des sources d'énergie renouvelables et dans celui de l'utilisation efficace de l'énergie, ils dépendent en premier lieu des Cantons, qui reçoivent à cet effet des contributions globales de la Confédération.

L'OFEN coordonne la recherche énergétique en étroite **collaboration avec les institutions publiques de soutien à la recherche**, en particulier le Conseil des EPF (CEPF), le Secrétariat d'État à l'éducation et à la recherche (SER/SBF), les Offices fédéraux de l'environnement (OFEV/BAFU), de l'agriculture (OFAG/BLW), du développement territorial (ODT/ARE) et des routes (OFROU/ASTRA), ainsi que l'Agence de la Confédération pour la promotion de l'innovation (CTI/KTI), le Fonds national suisse (FNS/SNF) et les services cantonaux de l'énergie. Par ailleurs, il existe d'étroits contacts avec les fonds d'aide institués et alimentés par l'économie énergétique (*swiss-electric research*, Fonds de recherche, de développement et de promotion de l'industrie gazière suisse FOGA et Fonds de recherches de l'Union pétrolière FRUP).

La plupart des **projets sont conduits par les établissements de recherche publics**. Au niveau fédéral, les principaux acteurs sont l'EPF de Zurich (ETHZ) et l'EPF de Lausanne (EPFL), l'Institut Paul Scherrer (PSI) et le Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherches (LFEM/EMPA), tandis que les Cantons sont présents à travers leurs Universités et leurs Hautes Écoles spécialisées. Ces établissements disposent de fonds propres, mais profitent également du financement par des tiers en provenance des institutions susmentionnées.

Par ailleurs, la Confédération et les Cantons attribuent également une aide à l'industrie, à des bureaux d'ingénieurs et à des particuliers. Dans la mesure du possible, les projets sont réalisés en partenariat avec les Hautes Écoles et l'industrie. Le principe de subsidiarité est appliqué, c'est-à-

dire que l'aide des pouvoirs publics ne sert qu'à compléter les fonds propres lorsque cela est absolument nécessaire. En outre, les fonds de l'OFEN constituent un instrument de pilotage. La formation de «centres d'excellence» est encouragée au sein des établissements de recherche.

A.1.5. MOYENS FINANCIERS

Les dépenses publiques en faveur de la recherche énergétique ont diminué dans tous les domaines par rapport à la situation qui prévalait au début des années nonante (figure 4). Certes, l'an 2000 a été suivi d'une embellie, mais les programmes d'économies de la Confédération et des Cantons ont engendré en 2004/2005 de nouvelles coupes claires. La CORE et l'OFEN considèrent qu'il est nécessaire et urgent de reconstruire la recherche énergétique, d'où l'objectif d'une hausse des moyens accordés à quelque 200 MCHF pour 2011. Un résumé détaillé figure au chapitre 5.

La recherche énergétique est conduite de manière décentralisée par de nombreux établissements. Cela favorise une coopération transdisciplinaire et multidisciplinaire. Comme l'indique le tableau de la page 43, **la provenance des crédits est d'autant plus diverse.**

Ce tableau montre également quels sont les montants alloués à chacun des domaines de la recherche. On notera que les chiffres indiqués, à l'exception des contributions à l'économie privée, comprennent tous les coûts d'infrastructure (*overhead*) et les dépenses dites *intra-muros*.

Les parts, exprimées en pour cent des crédits alloués et des établissements de recherche, ont peu changé ces dernières années. Les aides financières allouées par les Cantons et l'OFEN à l'économie privée vont essentiellement à la promotion des projets pilotes et de démonstration (Cantons : près de 100% ; OFEN environ 50%).

Des chiffres détaillés concernant les activités de recherche dans le domaine de l'énergie figurent dans la brochure **Liste des projets de la recherche énergétique de la Confédération 2004/2005** (à commander auprès du Service des publications de l'OFEN ou à télécharger sur le site : www.recherche-energetique.ch). On y trouvera aussi une estimation des dépenses consenties par l'économie privée dans des travaux de RD&D énergétique. Ces dernières ont été de quelque 740 MCHF en 2005.

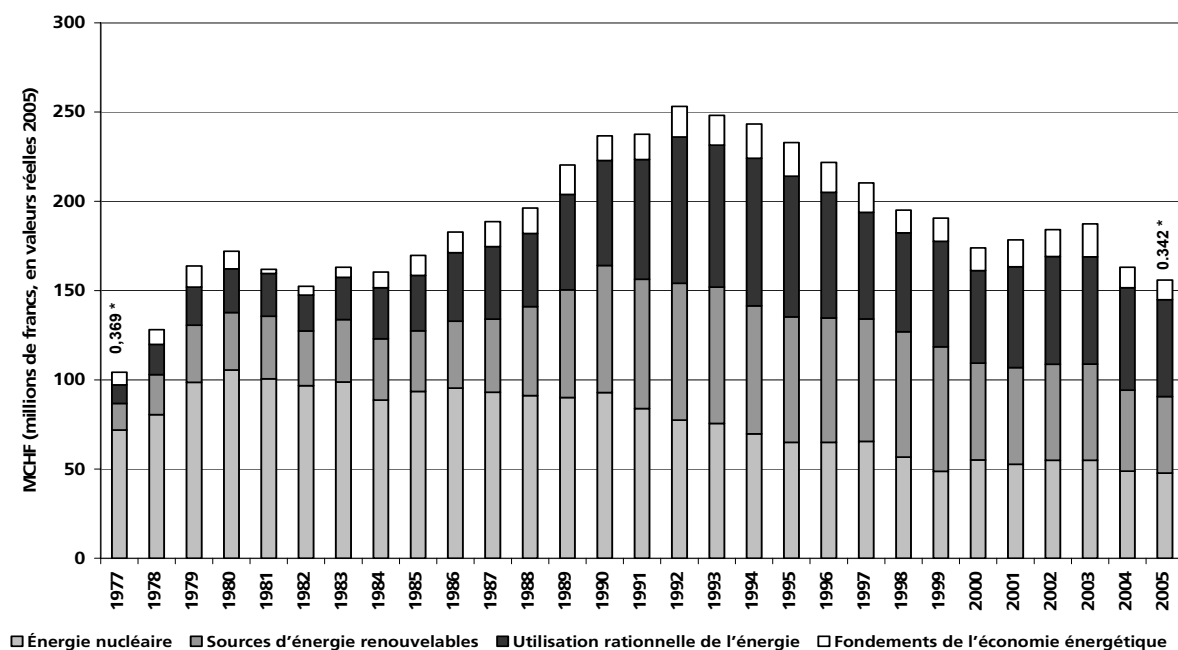


Figure 4 : dépenses consacrées à la recherche énergétique depuis le début des relevés en 1977 (en millions de francs MCHF), corrigées du renchérissement pour 2005.

* Dépenses en pour mille du produit intérieur brut (en 1977 et en 2005)

	Sources de financement								Totaux
	CEPF	FNS	CTI	OFEN	SER ¹⁾	UE ¹⁾	Div. ³⁾	Cantons, communes	
Utilisation efficace de l'énergie	29,25	1,76	3,51	10,25	4,44	0,70	0,73	4,85	55,5
Bâtiments	1,92	0,15	0,57	2,76	0,16	-	0,06	1,68	7,3
Transports	9,21	0,17	0,07	2,62	0,57	0,06	0,24	0,59	13,5
Accumulateurs et supercapacités	8,45	0,08	0,07	0,20	0,40	-	0,06	0,08	9,3
Technologie et utilisations de l'électricité	2,25	1,06	0,63	1,16	0,50	-	0,04	1,01	6,6
Réseaux	1,59	0,09	0,15	0,27	0,28	-	0,03	0,10	2,5
Couplage chaleur-force	3,36	0,12	0,82	1,66	0,77	0,11	0,00	0,89	7,7
Piles à combustible	2,53	0,12	0,66	1,18	0,75	0,22	0,01	0,81	6,3
Combustion	7,09	0,17	0,95	1,32	1,15	0,28	0,27	0,40	11,6
Centrales à gaz 2020	0,78	-	0,32	0,13	0,81	0,25	-	0,13	2,4
Technologie des procédés	3,06	-	-	0,34	0,19	-	0,09	0,06	3,7
Sources d'énergie renouvelables	10,97	1,39	2,96	12,33	3,22	0,67	1,20	11,11	43,9
Solaire thermique	0,66	0,05	0,31	2,40	0,35	-	-	4,13	7,9
Photovoltaïque	2,28	0,94	1,60	2,04	1,49	0,21	0,03	2,93	11,5
Utilisation industrielle de l'énergie solaire	4,18	-	-	0,86	0,00	-	-	-	5,0
Hydrogène	0,90	0,13	-	0,65	0,13	0,28	0,01	0,39	2,5
Chaleur ambiante	-	-	-	2,66	0,01	-	0,07	2,24	5,0
Biomasse	1,18	0,18	0,26	2,08	0,47	0,02	0,73	0,50	5,4
Géothermie	0,08	-	-	0,86	0,39	0,00	0,02	0,50	1,9
Énergie éolienne	-	-	-	0,48	0,09	0,03	-	0,03	0,6
Force hydraulique	1,69	0,09	0,79	0,31	0,29	0,13	0,34	0,39	4,0
Énergie nucléaire	31,96	1,76	-	3,07	2,95	7,42	0,34	0,49	48,0
Technique et sécurité nucléaire	17,76	0,21	-	2,87	1,29	0,63	0,34	0,32	23,4
Fusion nucléaire	14,20	1,54	-	0,20	1,66	6,79	-	0,17	24,6
Fondements de l'économie énergétique	7,57	0,03	-	2,56	0,24	0,19	0,41	0,16	11,2
Fondements de l'économie énergétique	7,57	0,03	-	2,56	0,24	0,19	0,41	0,16	11,2
ETHZ	9,01	0,50	1,12	1,67	0,67	0,30	0,15	0,03	13,4
EPFL	22,70	2,32	2,01	0,77	1,35	6,96	0,46	0,11	36,7
LFEM/EMPA	3,02	-	0,31	0,88	0,37	0,08	-	0,03	4,7
PSI	44,77	0,19	0,00	3,70	1,47	0,41	0,12	-	50,7
Autres services fédéraux	0,09	-	-	2,86	0,23	-	0,82	0,08	4,1
Étranger ²⁾	-	-	-	0,95	1,42	-	0,07	-	2,4
Universités	-	1,94	0,94	1,98	0,26	0,11	0,02	3,97	9,2
HES	0,01	-	1,90	3,62	0,24	0,01	0,28	7,43	13,5
Autres services cantonaux	-	-	-	0,26	0,00	-	-	1,37	1,6
Économie privée	0,15	-	0,19	11,52	4,85	1,11	0,76	3,60	22,2
Totaux	79,8	4,9	6,5	28,2	10,9	9,0	2,7	16,6	158,5

- 1) Les dépenses du SER/SBF étaient généralement des contributions versées à des projets de l'UE. Ces fonds proviennent aujourd'hui directement de Bruxelles.
- 2) Les contributions destinées à l'étranger sont principalement des contributions nettes à EURATOM et à JET.
- 3) Autres offices fédéraux (OFEV/BAFU, OFAG/BLW, ODT/ARE, OFROU/ASTRA, DDC/DEZA)

Tableau : valeurs moyenne des sources des crédits d'encouragement alloués à la recherche énergétique sur les deux années 2004 et 2005 (en MCHF) et ventilation par domaine (y compris les projets P+D) et par institution de recherche. Les chiffres doivent être considérés comme un ordre de grandeur ; ils peuvent varier sensiblement d'une année à l'autre, pour des questions liées à l'état des finances des organismes de soutien.

A.1.6 RÉSULTATS ACQUIS

La recherche énergétique doit à l'engagement des pouvoirs publics d'avoir pu conserver des **compétences reconnues**, et même d'avoir pu en acquérir de nouvelles, dans des secteurs établis et nouveaux. La Suisse dispose d'une communauté de chercheurs motivés et d'institutions qui offrent un **niveau d'équipement et de formation élevé**.

En dépit d'un contexte peu propice aux innovations, **les résultats se répercutent toujours plus dans la pratique**. Il faut se rappeler que, dans le secteur de l'énergie, les produits sont généralement conçus pour durer longtemps ; cela explique que les nouvelles connaissances acquises mettent du temps pour trouver leur place sur le marché. Cependant, il est devenu clair aux yeux de tous qu'aussi bien les résultats obtenus par les chercheurs que les applications qui en ont été faites ensuite par l'économie, ont modifié l'offre énergétique. On peut citer, à titre d'exemple, **les techniques permettant de construire des bâtiments énergétiquement plus rationnels** (meilleures fenêtres, isolation thermique plus efficace, bâtiments suivant les normes Minergie, etc.), **une palette plus riche de techniques de chauffage** (chaleur solaire, pompes à chaleur, chauffages au bois et aux granulés de bois, brûleurs à huile et à gaz plus propres), **des appareils ménagers et de bureau plus économiques, de nouvelles techniques de production d'électricité ou l'amélioration des techniques actuelles** (photovoltaïque, couplage chaleur-force, installations de biogaz, centrales combinées, petits aménagements hydrauliques efficaces, installations éoliennes, piles à combustible), **de nouvelles techniques d'accumulation** (accumulateurs de types avancés, stockage de chaleur à court et long terme, agents énergétiques chimiques, tels que l'hydrogène ou le méthanol), **des automobiles plus économes** (moteurs plus efficaces et moins polluants, voitures hybrides, véhicules légers et voitures électriques).

Le succès de ces transferts technologiques reflète aussi l'esprit de coopération qui règne entre les pouvoirs publics et l'industrie. Des sociétés bien établies peuvent étoffer leur offre grâce à de nouveaux produits et, partant, sauvegarder ou créer des emplois. En exemple, citons l'entreprise **Jäggi/Güntner** qui a développé le refroidisseur à sec hybride en collaboration avec la Haute École spécialisée de Brugg, ou la société **Unaxis**

Balzer qui a repris des résultats de la recherche sur les cellules solaires menée à l'Université de Neuchâtel.

La recherche énergétique a permis de créer une multitude de nouvelles entreprises telles que **Sputnik Engineering**, Bienne, fondée en 1991 (onduleur), **enecolo**, Mönchaltorf, fondée en 1996 (installations solaires), **VHF-Technologies**, Le Locle, fondée en 2000 (cellules solaires en couche mince) ou **Ecospeed**, Zurich, fondée en 2002 (logiciel pour les flux de matériaux).

La **coopération internationale** en matière de recherche aide beaucoup à la réalisation des objectifs visés : la Suisse **prend largement part** aux programmes de recherche de l'AIE et, de plus en plus, à ceux de l'UE. Comme des évaluations réalisées régulièrement le montrent, la recherche énergétique suisse se distingue dans le concert international pas seulement par sa qualité, mais aussi par son originalité.

La coopération aussi bien nationale qu'internationale est grandement facilitée par les nombreuses relations de l'**OFEN** qui est ainsi en mesure de **combler les lacunes de financement entre la recherche fondamentale orientée et le développement de produits**. La coopération clairement réglementée avec l'Agence de la Confédération pour la promotion de l'innovation (CTI/KTI) a aussi fait ses preuves. Par ailleurs, grâce aux réseaux établis au sein du Programme SuisseEnergie, l'**OFEN** promeut la **commercialisation** en étroite collaboration avec les Cantons et diverses organisations.

Le lancement, l'accompagnement et la finalisation des projets s'effectuent avec un **minimum de bureaucratie**. En effet, les chefs de programme veillent à l'affectation ciblée et efficace des fonds.

Il existe toutefois encore un potentiel d'amélioration, notamment en ce qui concerne une information efficace sur les avancées de la recherche. Il faut **inciter l'industrie à s'engager davantage en faveur des nouveaux développements** et montrer à toutes les couches de la population comment elles peuvent contribuer à un approvisionnement énergétique durable en utilisant les nouvelles technologies énergétiques (NTE). À cette fin, il est impératif de remettre sur pied une promotion ciblée des projets P+D.

A.2 Stratégie détaillée

A.2.1 RÉPARTITION ET COORDINATION NATIONALES DES TÂCHES

Les crédits d'encouragement proviennent des institutions suivantes :

- À l'échelon de la **Confédération**, le soutien à la recherche énergétique relève en premier lieu du Domaine des EPF (via le CEPF et le CCEM), de l'OFEN, de la CTI, du SER et du FNS.
- Les **Cantons** soutiennent la recherche énergétique menée dans les Universités, les Hautes Écoles spécialisées et dans le cadre de projets P+D.
- Enfin, trois **institutions privées** dotées de moyens importants dans le secteur de l'énergie, à savoir celle de l'électricité (*swisselectric research*), celle de l'industrie gazière (FOGA) et celle de l'Union pétrolière (FRUP) financent essentiellement les études menées dans chacun de leurs domaines.

L'OFEN joue un rôle central. Il soutient à titre **subsidaire** la recherche à tous ses stades, de la recherche fondamentale orientée à la commercialisation des produits. Son budget est aussi un instrument de conduite dont il se sert pour faire avancer la recherche selon le *Plan directeur de la*

recherche énergétique de la Confédération. Les chefs de programme de l'OFEN connaissent les différentes exigences, les grandes orientations, les modes de fonctionnement et les particularités des institutions de promotion et sont ainsi en mesure d'aider à placer les projets auprès des organismes compétents.

L'OFEN est impliqué dans environ 65% des projets de recherche énergétique financés par les pouvoirs publics ; il est donc à même de les orienter directement. Ailleurs, il fait valoir son influence en siégeant dans des commissions de promotion ou dans des groupes de suivi et par le biais d'expertises (environ 25% des projets). Enfin, il connaît l'existence des 10% des projets restants du fait qu'il inventorie tous les deux ans les projets de recherche énergétique financés par les pouvoirs publics. Cela permet d'éviter presque à coup sûr les doublons et facilite la mise en réseau. Par ailleurs, les chefs de programme de l'OFEN assurent une **coordination orientée** des programmes de recherche, qu'ils influencent et surveillent (voir le chapitre A.1.4 sur la coordination avec Suisse-Energie).

A.2.2 CRITÈRES DE SOUTIEN AUX PROJETS

Les projets de recherche dans le secteur de l'énergie soutenus par les pouvoirs publics doivent remplir les **conditions-cadres** énoncées au chapitre A.1.3 et, tout en allant dans le sens des objectifs stratégiques (voir chapitre 4), être conformes aux priorités fixées pour la période 2008 à 2011 (voir chapitre 5).

Si les travaux portent sur des domaines hautement prioritaires, il est judicieux de poursuivre des **alternatives à la fois techniques et institutionnelles** (même dans le cas de la coopération internationale), afin d'éviter tout flottement ou échec et le règne du *stop-and-go*.

De manière générale, le soutien aux projets de R&D ainsi qu'aux installations P+D dépend du respect du **catalogue de critères** suivant :

- Le produit final du projet est d'intérêt public, **il laisse entrevoir de réels avantages écologiques et économiques par rapport aux solutions en place**. Les **économies** potentielles en termes d'énergie, d'émissions de CO₂ et d'autres **polluants** sont **quantifiées en fonction des attentes du marché**.
- Le projet promet une **qualité technico-scientifique élevée**. Les points critiques sont identifiés et la marche à suivre pour y remédier est indiquée. Les institutions et les chercheurs impliqués sont à même de réaliser le projet et possèdent les compétences requises.
- Les recherches concernant la bibliographie et les brevets ont conclu à l'**absence de doublon** ou de situation de concurrence problématique. Le projet prend aussi en considération les travaux sur le plan international. Si des projets concurrents ou des produits similaires existent, le résultat du projet constitue un **réel avantage par rapport aux concurrents**.
- **Le projet doit présenter un potentiel d'application suffisant**.
- Les conditions du marché sont passées en revue. **Une évaluation claire des chances commerciales du produit final est menée et doit révéler des perspectives à court, moyen et long termes**, ainsi que la présence d'un certain degré d'acceptation par le consommateur. Plus un projet est proche du marché, plus l'analyse correspondante sera détaillée.
- Le **transfert des résultats de la recherche** fait l'objet d'un concept (qui fait quoi, et jusqu'à quand ? comment s'effectue la commercialisation ?). Plus un projet est proche du marché, plus ce concept sera détaillé.
- Les **installations P+D** doivent être bien pourvues d'instruments, les mesures être suffisantes et l'évaluation des données recueillies être garantie. Si les installations sont tributaires de leur site d'accueil, tout conflit avec des directives communales, régionales ou cantonales doit être évité.

- Un découpage clair du projet en étapes doit garantir son **développement orienté**. Ainsi, chaque phase aboutit à des étapes contrôlables (*milestones*) et à des produits définis à livrer (*deliverables*). Un calendrier réaliste de la recherche facilite le respect des échéances. Là où cela est judicieux, des groupes de suivi formés dans les milieux intéressés veillent à ne pas perdre de vue la dimension pratique des travaux.
- Le **financement des projets** respecte les tarifs de l'OFEN. Les montants budgétés sont dûment justifiés et apparaissent adéquats pour atteindre les objectifs. Les prestations propres des partenaires présentées sont d'autant plus élevées que le projet est proche du marché. Les fonds nécessaires au transfert sont également précisés. Pour les projets plus complexes, chaque phase est présentée dans un budget distinct, permettant d'adapter ou de suspendre les projets en fin d'étape.

A.2.3 RECHERCHE FONDAMENTALE ORIENTÉE

La recherche fondamentale orientée alimente les connaissances nécessaires pour bien aborder les problèmes ou les possibilités identifiés ou prévisibles, concernant le présent comme l'avenir (voir le *Manuel de Frascati 2002 – Méthode type proposée pour les enquêtes sur la recherche et le développement expérimental*, OCDE, ISBN 92-64-29903-3, n° 52702, Paris, 2002). En revanche, les acquis de la recherche appliquée servent en premier lieu à développer des produits et des procédés nouveaux ou améliorés sur le plan de la technique énergétique. Enfin, le développement expérimental consiste à réaliser et à tester, sur la base des acquis de la recherche et de la pratique, de premiers modèles pour les nouveaux produits. La recherche énergétique en Suisse est appelée à soutenir d'abord la recherche et le développement (R&D) appliqués.

Lorsqu'elle contribue au développement d'un approvisionnement énergétique durable, la recherche fondamentale orientée justifie un soutien étatique. Les crédits alloués peuvent ainsi inciter la recherche fondamentale à s'occuper de facteurs potentiellement intéressants pour l'énergie.

La recherche fondamentale orientée est à l'origine d'applications intéressantes pour la technique énergétique (exemple : hydrure métallique

pour le stockage de l'hydrogène). **Inversement, l'apparition de phénomènes ignorés, au stade de la R&D appliquée** ou de la réalisation et de l'exploitation des installations, **stimule souvent la recherche fondamentale orientée** (exemple : oscillations thermo-acoustiques des turbines à gaz).

Outre la chimie, la physique et la technique, la recherche fondamentale orientée comporte une dimension écologique et socio-économique. Les connaissances présentent certes un intérêt général pour le secteur énergétique, mais doivent également **combler des lacunes dans les champs suivants : écologie, économie et sciences sociales**. Dans ce cas les travaux correspondants ne débouchent pas sur de nouveaux produits ou procédés, mais facilitent l'accueil des nouvelles solutions et prennent en compte leur impact sur l'environnement, l'économie et la société.

La transition entre la recherche fondamentale orientée et d'autres étapes de la recherche s'effectue sans heurt. Il s'agit pour la recherche énergétique de permettre à la recherche fondamentale orientée, à la recherche appliquée et au développement de projets P+D) de progresser en parallèle, à la faveur d'échanges réciproques. Il est important que les **chefs de programme** en soient conscients et **établissent des ponts lorsque c'est possible et judicieux**.

A.2.4 MISE EN ŒUVRE DES RÉSULTATS DE LA RECHERCHE

Le transfert des résultats vers le marché fait partie intégrante des tâches des collectivités publiques qui soutiennent la recherche. Il s'agit notamment d'accélérer le lancement des techniques énergétiques durables. Dans cette optique, à côté de **l'implication directe le plus tôt possible des partenaires de l'industrie, le financement ciblé de projets pilotes et de démonstration (P+D)** est un instrument décisif pour le transfert. La collaboration étroite avec l'économie privée, cette dernière assumant la plupart des coûts, est une absolue nécessité. En outre, au chapitre de la mise en œuvre de la politique énergétique et climatique suisse, le Programme **SuisseEnergie** vise à favoriser la pénétration des nouvelles technologies en agissant sur la demande (subventions provenant des Cantons, mesures librement consenties, *marketing*, prescriptions).

Pour le **choix des projets P+D**, la priorité revient aux domaines où les partenaires privés suisses sont déjà actifs ou possèdent des compétences particulières. À titre exceptionnel et dans des cas bien documentés (par exemple, pour influencer les grands groupes internationaux jouant un rôle multiplicateur, ou si la recherche présente un caractère générique suffisant pour que le savoir-faire reste en Suisse), des projets P+D peuvent être encouragés dans un domaine où l'économie étrangère est très active.

Autre volet du transfert : tant les **spécialistes** concernés que le **grand public** doivent être largement informés sur ce qui a trait aux travaux de recherche énergétique et de développement, à l'échéance du lancement de nouveaux produits, à leurs implications sur les coûts et les bénéfices, et à leur impact sur l'environnement. Les progrès réalisés

dans les programmes et les projets directement suivis par l'OFEN sont déjà présentés **dans des rapports annuels détaillés, dans des publications spécialisées, sur Internet (www.recherche-energetique.ch)**, ainsi que lors de **rencontres et de séminaires organisés à cet effet**. De plus, l'OFEN apporte son soutien aux efforts d'exportation de l'économie privée, en particulier des PME. Enfin, l'OFEN publie tous les deux ans une **Liste des projets de la recherche énergétique de la Confédération**.

Un autre pilier du transfert consiste à diffuser les acquis de la recherche énergétique et à sensibiliser, dans la formation et le perfectionnement, aux exigences d'un approvisionnement durable. Selon la loi sur l'énergie, l'OFEN a le mandat de soutenir la **formation** et le **perfectionnement** des spécialistes de l'énergie. On cherche à élargir de manière appropriée les groupes cibles (enseignement primaire et secondaire, écoles professionnelles en général).

Les **contacts** noués avec les partenaires économiques, les informations tirées de la presse spécialisée et d'Internet, ainsi que diverses manifestations, telles qu'ateliers et conférences, sont autant de contributions à l'analyse des besoins et à la recherche de nouvelles solutions valables pour tous les acteurs du transfert. Les chefs de programme de l'OFEN sont tenus d'exploiter ces possibilités au mieux. Enfin, les **Conférences suisses sur la recherche énergétique** (tous les quatre ans environ) se sont révélées un forum très appréciable pour permettre à tous les groupes intéressés de dresser en commun un inventaire de leurs besoins et de proposer des pistes de réflexion.

A.2.5 CONDITIONS-CADRES POUR L'ÉCONOMIE PRIVÉE

L'engagement de la Confédération dans les travaux de recherche énergétique réalisés par l'économie privée répond au principe de la subsidiarité. En d'autres termes, l'État n'intervient que lorsque l'industrie néglige des domaines prioritaires (en raison des risques qu'ils présentent) et que, par ailleurs, les perspectives d'application y sont bonnes.

Des **conflits d'intérêts** peuvent surgir, notamment au stade du développement de produits encouragés par les pouvoirs publics. D'une part, les entreprises qui y ont participé ont un intérêt légitime à conserver les nouveaux résultats des recherches pour elles-mêmes, afin de ne pas mettre en péril leur compétitivité. D'autre part, l'encouragement basé sur des fonds publics suppose que les

nouvelles connaissances acquises soient publiques et donc accessibles à l'ensemble de la branche. De toute façon, les entreprises collaborant à un projet ainsi soutenu sont avantagées par l'avance technologique prise. De plus, lorsqu'une entreprise a participé au projet en y investissant en fonds propres des montants élevés, on peut lui accorder un délai de protection des nouvelles connaissances.

L'économie privée profite, au stade de la commercialisation, de la promotion directe et indirecte effectuée par **SuisseEnergie**. En outre, un volet de ce programme consiste à mettre sur pied des valeurs cibles de consommation, des certificats et des prescriptions pour améliorer encore les conditions-cadres au profit des entreprises.

Les **brevets** jouent un rôle important dans la collaboration entre les pouvoirs publics et l'économie privée. Or, ils sont régis par des procédures différentes dans la recherche menée par les Hautes Écoles. Pour l'instant, la recherche énergétique peut se baser sur la réglementation de la CTI. Si le partenaire privé assume plus de 50% des coûts du projet et si les fonds publics ne sont alloués qu'aux établissements de recherche publics impliqués, ledit partenaire a le droit de solliciter un brevet et d'en faire un usage illimité. Ainsi, les rapports finaux peuvent-ils être déclarés confidentiels jusqu'au dépôt du brevet. Il incombe aux partenaires de régler entre eux les droits à des brevets et les demandes d'indemnisation qui en découlent. La source de financement public sera informée en temps utile du dépôt de brevet. Si des brevets ou des droits de licence sont cédés sans être exploités par un des partenaires au projet, les contributions reçues doivent être entièrement ou partiellement restituées. Par ailleurs, le transfert des brevets et des droits de licence à des étrangers intéressés est subordonné à l'accord du bailleur de fonds public.

Le marché suisse est souvent trop exigu pour la production viable de produits à bon rendement

énergétique ou de technologies recourant aux sources d'énergie renouvelables. D'où un handicap dans le domaine du transfert. Une mesure essentielle en vue d'améliorer cette situation est donc d'orienter le développement technologique vers les attentes des **marchés internationaux**. Dans le domaine de l'énergie, des estimations réalistes montrent que le volume des exportations de la Suisse peut plus que doubler durant ces cinq prochaines années (voir *Förderung des Exports im Bereich der Energietechnologien, 2001*, avec résumé en français, à commander sur le site www.bfe.admin.ch, à la rubrique «Banque de données Recherche énergétique», numéro de publication 210121). Les grandes entreprises ont la possibilité d'écouler leurs produits sur les marchés étrangers par l'intermédiaire de filiales. Pour y accéder, les petites et moyennes entreprises ont besoin du soutien des pouvoirs publics. La Confédération prévoit notamment les instruments du *Business Network Switzerland* qui peuvent être utilisés via le portail d'accès *Service Center* (www.businessnetwork.ch/servicecenter). Ces instruments doivent être utilisés de manière cohérente par la recherche énergétique et leurs expériences intégrées dans la planification de la recherche et du transfert technologique.

A.2.6 COOPÉRATION INTERNATIONALE

La Suisse ne saurait s'isoler ni dans sa politique énergétique, ni dans sa recherche énergétique, pas plus que dans les domaines de l'économie et de la protection de l'environnement. La coopération internationale est donc un impératif.

Réalisée sur le mode du partenariat, cette coopération apporte des avantages à tous les acteurs. Elle produit des synergies, aide à éviter la dispersion des efforts et à améliorer l'efficacité de la recherche, et peut aussi revitaliser l'industrie. Enfin, elle favorise l'harmonisation des systèmes réglementaire et législatif.

Les projets internationaux ont déjà une longue histoire dans la recherche énergétique suisse. On tire pleinement profit, en particulier, des possibilités offertes **dans le cadre de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et dans celui de l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN)**. L'AIE permet aussi des ouvertures sur des pays hors de l'Europe et facilite la conclusion de projets bilatéraux avec les États membres. On recherchera une participation croissante de la Suisse dans les projets entrant dans le cadre de la **recherche menée par l'Union Européenne (UE)**. Par exemple, la coordination sur le plan européen de la recherche sur la fusion nucléaire remonte à plusieurs années déjà. L'entrée en vigueur de l'Accord bilatéral sur la recherche passé entre l'UE et la Suisse (6^e et 7^e Programmes-cadres de recherche, de développement technologique et de démonstration européens PCRDT) a grandement amélioré la participation et l'accès de notre pays à

de tels projets. La participation de partenaires suisses dans des projets de recherche de l'UE enregistre une nette progression.

Néanmoins, une coopération internationale n'est pas indiquée, ou profitable, dans tous les cas. Des questions typiquement suisses, par exemple, ne peuvent trouver des solutions qu'à l'échelon national. Il peut aussi y avoir des innovations que l'industrie suisse est particulièrement bien placée pour appliquer ou exploiter, afin de préserver sa compétitivité, et où elle a donc tout intérêt à agir seule. D'un point de vue tout à fait général, pour un petit pays comme la Suisse, tributaire des exportations, certains projets de recherche, dont on peut penser qu'ils aboutiront à court terme à des résultats brevetables, ne se prêtent pas à une coopération avec d'autres pays, parce que, généralement, seul un brevet national entre en ligne de compte à l'issue de projets internationaux. **Les avantages et les inconvénients d'une intégration internationale des projets de recherche énergétique doivent donc être minutieusement pesés dans chaque cas de figure.**

S'agissant des projets de recherche menés à l'étranger, un soutien ne se justifie que si ces derniers génèrent de la valeur ajoutée pour la Suisse. Par ailleurs, notre pays peut participer à des projets internationaux portant sur de grandes installations scientifiques situées à l'étranger dont l'exploitation excéderait les ressources d'un seul pays.

Une coopération à l'échelon mondial et un engagement accru dans les pays en voie de développement sont importants à long terme, en particulier dans la problématique de l'énergie et dans celle de l'environnement. En fin de compte, la Suisse profite aussi de la solidarité. Il

lui faut donc non seulement participer à des projets communs, mais aussi à la mise en place de structures de recherche propres. Une coopération active avec les institutions concernées (DDC, SECO, KFPE, REPIC) est indispensable.

A.2.7 CONTRÔLE DES OBJECTIFS ATTEINTS

À l'heure actuelle, le **controlling** et l'**assurance-qualité** de la recherche énergétique s'effectuent à deux niveaux. D'abord, les chefs de programme, les responsables de domaine à l'OFEN, ainsi que les groupes de suivi accompagnent les projets. La CORE exerce son contrôle à travers un parrain désigné pour chaque programme et en examinant les rapports annuels des chefs de programme. Ces derniers sont en outre appelés à présenter régulièrement devant la CORE leurs résultats, leurs plans pour le futur et une évaluation du transfert technologique.

La CORE s'assure, lors de la présentation du programme, que les objectifs quantitatifs définis soient contrôlables et réalistes, et les échéances respectées. Concrètement, elle exige que les synthèses annuelles des chefs de programme R&D et P+D incluent une comparaison entre les objectifs et les résultats effectifs de l'exercice. Les écarts par rapport aux valeurs visées seront brièvement expliqués à la lumière des événements et des difficultés imprévisibles, des ressources financières, des institutions et du personnel à disposition. Outre la réalisation des objectifs, les délais, les étapes, l'efficacité énergétique et le degré de proximité du marché sont également examinés. En revanche, le **controlling** de la CORE ne porte ni

sur les finances, qui restent du ressort direct des bailleurs de fonds, ni sur l'organisation interne des domaines de recherche. L'évaluation des progrès annuels des programmes est menée, en particulier, conjointement par les parrains de la CORE et les chefs de programme. De cette façon, la CORE est bien informée des activités et des succès obtenus dans chaque domaine, et peut au besoin mettre en œuvre des mesures de pilotage.

La recherche énergétique fait l'objet d'**évaluations régulières, effectuées par des groupes d'experts internationaux**. Certaines institutions font contrôler leurs travaux de leur propre initiative. Sinon, l'OFEN procède à des évaluations, par domaine, des activités de recherche et de transfert. De tels examens montrent dans quelle mesure les programmes sont conformes à la «Vision 2050» et aux objectifs supérieurs (chapitre 3) et resituent la qualité de la recherche énergétique suisse dans le contexte international. En outre, l'AIE entreprend tous les quatre ans des examens approfondis de la politique énergétique des pays membres, entre autres sous l'angle de la recherche et du développement. Les critiques formulées sont prises au sérieux et la CORE veille à ce que des améliorations soient opérées dans la mesure du possible.

A.3 Procédure pour fixer les priorités

Pour fixer les priorités du *Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération*, la CORE a fait expliciter comment le *mix* technologique devait être modifié ces prochaines décennies pour répondre au mieux à la vision à long terme et aux objectifs quantitatifs pour 2050, tels qu'ils sont présentés au chapitre 3 (M. Bürer, E4tech, et C. Bremer, CEPE/EPFZ : **A contribution to the identification of promising technologies for the 2050 Swiss Energy R&D policy vision** ; voir www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung). Quatre scénarios se distinguant par le degré de décentralisation et le taux de substitution des combustibles et des carburants fossiles ont été étudiés, en utilisant les pronostics de croissance du SECO. Les modélisations ne tiennent pas compte des périodes d'investissement ou des facteurs socio-économiques nécessaires pour commercialiser de nouvelles technologies ; elles reposent sur des bilans énergétiques, sur les potentiels des sources d'énergie et sur les rendements escomptés des NTE (nouvelles technologies énergétiques). **Les résultats sont dépendant en accord explicable avec le scénario IV des perspectives énergétiques de l'OFEN** (www.bfe.admin.ch).

Les résultats en bref :

- Les objectifs postulés peuvent en principe être atteints dans les quatre scénarios ; les technologies requises seront disponibles en 2050 en menant des activités de recherche dans ce sens.
- Si l'on prend en considération seulement les sources d'énergie non-renouvelables, on peut faire baisser la consommation d'énergie par habitant à 2'000 watts dans les quatre scénarios. Compte tenu de l'énergie « commerciale » (comme c'est le cas dans le modèle d'une « société à

2'000 watts»), la réalisation des objectifs visés conduit à une **société comprise entre 3'000 et 4'000 watts**.

- Les émissions de CO₂ diminuent d'ici 2050, en passant de quelque 6 tonnes de CO₂ par habitant et par an aujourd'hui à 4,1 jusqu'à 2,4 tonnes, selon le scénario.

On a analysé ensuite le rôle que jouent les différentes technologies dans les scénarios envisagés en mettant l'accent sur celles qui sont essentielles dans tous les scénarios et sur celles présentes dans le scénario impliquant le plus haut degré de substitution d'agents énergétiques fossiles (avec et sans le recours à l'énergie nucléaire). On a alors procédé à une autre évaluation en examinant quelles technologies contribueront grandement à l'avenir, tant au niveau national qu'international, à un approvisionnement énergétique sûr et durable, tout en procurant un avantage économique considérable (voir chapitre 5).

Le PSI a vérifié la validité des résultats de la feuille de route de la CORE en les intégrant dans le modèle de Markal, qui permet d'effectuer des optimisations selon l'utilité économique. Les résultats confirment les priorités fixées par la CORE. Les objectifs peuvent être atteints avec des surcoûts acceptables (moins de 5%). Les mesures combinées, notamment, sont très efficaces. Ces surcoûts sont d'autant plus fondés que, grâce aux mesures prises, d'autres coûts bien plus importants, dus aux effets négatifs des variations climatiques, peuvent être évités (voir, par exemple, le rapport «*Stern-Bericht*»).

Une série d'objectifs de recherche concernant plusieurs technologies énergétiques, qui sont présentées dans le tableau suivant :

	Isolation des bâtiments	Aération contrôlée	Voitures de tourisme	Systèmes à deux roues	Applications efficaces de l'électricité	Stockage de l'air comprimé	Conversion directe de chaleur en électricité	Supraconduction à haute température	Accumulateurs et supercondensateurs	Réseaux électriques	Moteurs à combustion	Turbines à gaz	Turbines à vapeur	Micro-turbines	Piles à combustible	Technologie des procédés	Chaleur solaire	Photovoltaïque	Chimie solaire	Production d'hydrogène	Stockage de l'hydrogène	Chaleur ambiante	Gazéification de la biomasse	Méthanisation de la biomasse	Combustion de la biomasse	Petite hydraulique	Géothermie profonde	Énergie éolienne	Technique et sécurité nucléaires	Gestion des déchets nucléaires	Fusion nucléaire	
Réduction des coûts																																
Augmentation de l'efficacité																																
Augmentation de la durée de vie																																
Augmentation de la fiabilité																																
Élargissement du domaine de fonctionnement																																
Augmentation de la densité de puissance																																
Intégration des systèmes																																
Réduction des nuisances environnementales (potentielles) à long terme																																
Diversification des sources d'énergie																																
Élargissement du domaine d'application																																
Réduction du poids																																
Diminution de la consommation de matériaux																																
Recyclage																																
Hausse de l'acceptation																																

A.4 Commission fédérale pour la recherche énergétique CORE

Membres	représentant...
D ^r Kaiser Tony, président Alstom Power, Future Technologies, directeur	l'industrie lourde
Prof. D ^r Favrat Daniel EPFL, directeur du Laboratoire d'énergétique industrielle	l'EPF de Lausanne, l'Alliance for Global Sustainability
Freitag Prankraz, conseiller d'État Département des travaux publics du Canton de Glaris, chef du Département	les Directeurs cantonaux de l'énergie
Jakob Ernst Office de la coordination environnementale et de l'énergie du Canton de Berne	les Services cantonaux de l'énergie
Prof. D ^r Kunze Christian Haute École d'ingénierie et de gestion du Canton du Vaud, directeur	les Hautes Écoles spécialisées HES, le Fonds national suisse de la recherche scientifique FNS
D ^r Leutenegger Hajo Wasserwerke Zug AG, directeur	l'économie énergétique (eau et gaz)
Prof. D ^r Lux-Steiner Martha Christina Hahn-Meitner-Institut, Département de recherche sur l'énergie solaire, directrice	les Universités, les relations internationales
Rohrbach Kurt BKW / FMB Energie SA, président de la Direction	l'économie énergétique (électricité)
Prof. D ^r Schlapbach Louis LFEM/EMPA, directeur général	le LFEM/EMPA, l'Agence de la Confédération pour la promotion de l'innovation CTI/KTI
Togni Giuseppina eTeam TOGNI ENERGIE GmbH, associée	les bureaux d'ingénieurs, les PME
Prof. D ^r Wavre Nicolas Management Consultant	les PME, les Hautes Écoles spécialisées
Prof. D ^r Wokaun Alexander Institut Paul Scherrer, domaine de recherche Énergie en général, directeur	le PSI, l'EPF de Zurich, l'Académie suisse des sciences techniques SATW, Novatlantis
D ^r Wüstenhagen Rolf Haute École de Saint-Gall (HSG), Institut d'économie et d'écologie, vice-directeur	les Universités, l'économie, l'entrepreneuriat, le capital-risque
Observateurs	Office
D ^r Schriber Gerhard Chef de la Section Recherche et formation	Office fédéral de l'énergie OFEN/BFE
Zürcher Daniel Chef de la Section Innovation	Office fédéral de l'environnement OFEV/BAFU
D ^r Zinsli Paul-Erich Directeur suppléant	Secrétariat d'État à l'éducation et à la recherche SER/SBF
Secrétariat	Adresse
D ^r Gut Andreas OFEN, Section Recherche et formation	Tél. 031 322 53 24, fax 031 323 25 00 e-mail : andreas.gut@bfe.admin.ch

A.5 Domaines de l'OFEN et responsables

	Domaines de l'OFEN	Responsables de domaine	Chefs de programme RD&D
Utilisation efficace de l'énergie	Bâtiments (y compris architecture solaire)	Andreas Eckmanns	Charles Filleux
	Transports	Martin Pulfer	Martin Pulfer
	Accumulateurs, supercapacités		
	Technologies et utilisations de l'électricité	Felix Frey	Roland Brüniger
	Réseaux	Rainer Bacher	Thilo Krause
	Couplage chaleur-force	Fabrice Rognon	Thomas Kopp
	Combustion		Stephan Renz
	Centrales à gaz 2020		Peter Jansohn
	Piles à combustible	Andreas Gut	Andreas Luzzi
	Technologie des procédés	Martin Stettler	Martin Stettler
Sources d'énergie renouvelables	Thermique solaire (y compris stockage)	Urs Wolfer	Jean-Christophe Hadorn
	Photovoltaïque		Stefan Nowak
	Utilisation industrielle de l'énergie solaire		Pierre Renaud
	Hydrogène	Andreas Gut	Andreas Luzzi
	Chaleur ambiante (pompes à chaleur)	Fabrice Rognon	Thomas Kopp
	Bois	Daniel Binggeli	Daniel Binggeli
	Biomasse (sans le bois)	Bruno Guggisberg	Bruno Guggisberg
	Force hydraulique (petites installations)		Manuel Buser
	Force hydraulique (grandes installations)	Georges Darbre	Manuel Buser
	Géothermie	Markus Geissmann	Rudolf Minder
	Énergie éolienne		Robert Horbaty
Énergie nucléaire	Technique et sécurité nucléaire	Christophe de Reyff ¹	Konstantin Foskolos
	Recherche réglementaire en sécurité nucléaire		Thomas Bigler
	Fusion nucléaire		Andreas Werthmüller
Fondements de l'économie énergétique et transfert technologique	Politique énergétique, (économie, société, environnement)	Lukas Gutzwiller	Lukas Gutzwiller
	Transfert technologique	Andreas Gut, Yasmine Calisesi, Christophe de Reyff	

¹⁾ L'OFEN a ici un rôle de répondant

Adresse des responsables de domaines à l'OFEN

Rainer Bacher, tél. 031 322 56 15	Andreas Gut, tél. 031 322 53 24
Daniel Binggeli, tél. 031 322 68 23	Lukas Gutzwiller, tél. 031 322 56 79
Yasmine Calisesi, tél. 031 322 53 21	Thilo Krause, tél. 031 322 56 63
Georges Darbre, tél. 031 325 54 91	Martin Pulfer, tél. 031 322 49 06
Andreas Eckmanns, tél. 031 322 54 61	Christophe de Reyff, tél. 031 322 56 66
Felix Frey, tél. 031 322 56 44	Fabrice Rognon, tél. 031 322 47 56
Markus Geissmann, tél. 031 322 56 10	Martin Stettler, tél. 031 322 55 53
Bruno Guggisberg, tél. 031 322 56 40	Urs Wolfer, tél. 031 322 56 39

Adresses communes à tous les responsables : OFEN, 3003 Berne

fax : 031 323 25 00 ; courriel : prenom.nom@bfe.admin.ch

Adresses des chefs de programmes à l'extérieur de l'OFEN

<p>Thomas Bigler HSK, 5232 Villigen-HSK Tél. 056 310 39 19 – Fax 056 310 39 95 E-mail : thomas.bigler@hsk.ch</p>	<p>Thomas Kopp Haute École technique de Rapperswil (HSR) Oberseestr. 10, 8640 Rapperswil Tél. 055 222 49 23 - Fax 055 222 44 00 E-mail : thomas.kopp@hsr.ch</p>
<p>Roland Brüniger R. Brüniger AG Zwillikerstr. 8, 8913 Ottenbach Tél. 044 760 00 66 – Fax 01 760 00 68 E-mail : roland.brueiniger@r-brueniger-ag.ch</p>	<p>Andreas Luzzi Haute École technique de Rapperswil (HSR) Oberseestr. 10, 8640 Rapperswil Tél. 055 222 48 22 – Fax 055 222 48 44 E-mail : andreas.luzzi@solarenergy.ch</p>
<p>Manuel Buser entec AG, Consulting & Engineering Bahnhofstr. 4, 9000 St-Gall Tél. 071 228 10 20 – Fax 071 228 10 30 E-mail : pl@smallhydro.ch</p>	<p>Rudolf Minder Minder Energy Consulting, Ruchweid 22, 8917 Oberlunkhofen Tél. 056 640 14 64 – Fax 056 640 14 62 E-mail : rudolf.minder@bluewin.ch</p>
<p>Charles Filleux Basler & Hofmann AG Forchstr. 395, 8032 Zurich Tél. 044 387 11 22 – Fax 044 387 11 00 E-mail : filleux.REN@bhz.ch</p>	<p>Stefan Nowak Nowak Energie & Technologie AG Waldweg 8, 1717 St.Ursen Tél. 026 494 00 30 – Fax 026 494 00 34 E-mail : stefan.nowak@netenergy.ch</p>
<p>Konstantin Foskolos PSI 5232 Villigen-PSI Tél. 056 310 26 92 – Fax 056 310 44 11 E-mail : konstantin.foskolos@psi.ch</p>	<p>Pierre Renaud Planair SA Crêt 108 a, 2314 La Sagne NE Tél. 032 933 88 40 – Fax 032 933 88 50 E-mail : pierre.renaud@planair.ch</p>
<p>Jean-Christophe Hadorn Base Consultants SA 51, ch. du Devin 1012 Lausanne Tél. 021 651 42 82 – Fax 021 651 42 83 E-mail : jchadorn@baseconsultants.com</p>	<p>Stephan Renz Beratung Thoma & Renz Elisabethenstr. 44, Case postale, 4010 Bâle Tél. 061 271 76 36 – Fax 061 272 57 95 E-mail : renz.btr@swissonline.ch</p>
<p>Robert Horbaty ENCO AG Wattwerkstrasse 1, 4416 Bubendorf Tél. 061 965 99 00 – Fax 061 965 99 01 E-mail : robert.horbaty@enco-ag.ch</p>	<p>Andreas Werthmüller Secrétariat d'État à l'éducation et à la recherche (SER) Hallwylstrasse 4, 3003 Berne Tél. 031 323 35 95 – Fax 031 322 78 54 E-mail : andreas.werthmueller@sbf.admin.ch</p>
<p>Peter Jansohn PSI 5232 Villigen-PSI Tél. 056 310 28 71 – Fax 056 310 26 24 E-mail : peter.jansohn@psi.ch</p>	

A.6 Abréviations et sigles (en français / en allemand)

AEE	Agence des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique
AEN/NEA	Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire
AEnEC	Agence de l'énergie pour l'économie
AGS	Alliance for Global Sustainability
AIE/IEA	Agence internationale de l'énergie
APU	<i>Auxiliary Power Unit</i>
ASC/USV	alimentation sans coupure
BOP	batterie oléo-hydraulique
CCEM	<i>Competence Center Energy and Mobility</i>
CCF/WKK	couplage chaleur-force
CEPE	<i>Centre for Energy Policy and Economics</i>
CO ₂	dioxyde de carbone
COP	coefficient de performance
CORE	Commission fédérale pour la recherche énergétique
CRFD	<i>Computational Reactive Fluid Dynamics</i>
CRPP	Centre de recherches en physique des plasmas, à l'EPF Lausanne
CTI/KTI	Agence de la Confédération pour la promotion de l'innovation, à l'OFFT
DDC/DEZA	Direction du développement et de la coopération
DETEC/UVEK	Dép. fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
DHM	<i>Deep Heat Mining</i>
eae	Agence de l'énergie pour les appareils électriques
ECRH	<i>Electron Cyclotron Radiation Heating</i>
EGS	<i>Enhanced Geothermal System</i>
EPF/ETH	École polytechnique fédérale
EURATOM	Communauté européenne de l'énergie atomique
FOGA	Fonds de recherche de l'industrie gazière
FNS/SNF	Fonds national suisse de la recherche scientifique
FRUP	Fonds de recherche de l'Union pétrolière
GCHF	milliards de francs
G€	milliards d'euros
GIF	<i>Generation IV International Forum</i>
GJ	gigajoule
GWh	gigawatt-heure
HES/FH	Hautes Écoles spécialisées
HSG	Haute École de Saint-Gall
HTSC/HTSL	<i>High Temperature Supra-Conductivity</i>
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IFMIF	<i>International Fusion Material Irradiation Facility</i>
ITER	<i>International Thermonuclear Experimental Reactor</i>
KFPE	Commission pour le partenariat scientifique avec les pays en développement

LFEM/EMPA	Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherches, Dübendorf
LWR	réacteur à eau légère (<i>Light Water Reactor</i>)
MCHF	millions de francs
M€	millions d'euros
Message FRI	<i>Message relatif à l'encouragement de la formation, de la recherche et de l'innovation pour les années 2008 à 2011</i>
MJ	mégajoule
MOX	combustible à oxyde mixte (<i>Mixed Oxide Fuel</i>)
MW _c	mégawatt-crête
MWh	mégawatt-heure
NAGRA	Société coopérative nationale pour l'entreposage de déchets radioactifs
Nm ³	mètre cube normalisé (i.e. sous une pression absolue de 1'013 hectopascals et à une température de 0 °C (DIN) ou de 15 °C (ISO))
NTE	nouvelles technologies énergétiques
ODT/ASTRA	Office fédéral du développement territorial
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OEM	<i>original equipment manufacturer</i>
OFEN/BFE	Office fédéral de l'énergie
OFEV/BAFU	Office fédéral de l'environnement
OFFT/BBT	Office fédéral de la formation professionnelle et de la technologie
OFROU/ASTRA	Office fédéral des routes
PAC/WP	pompe à chaleur
P+D	projets pilotes et de démonstration
PEFC	<i>Polymer Electrolyte Fuel Cell</i>
PJ	pétajoule
PME/KMU	petites et moyennes entreprises
PSI	Institut Paul Scherrer
RD&D/F,E&D	recherche, développement et démonstration
REPIC	<i>Renewable Energy Platform for International Cooperation</i>
S.A.F.E.	Agence suisse pour l'efficacité énergétique
SAM	<i>Sustainable Asset Management</i> (gestion durable des actifs)
SATW	Académie suisse des sciences techniques
SECO	Secrétariat d'État à l'économie
SER/SBF	Secrétariat d'État à l'éducation et à la recherche
SGV/EWS	sonde géothermique verticale
SOFC	<i>Solid Oxide Fuel Cell</i>
TCV	<i>tokamak</i> à configuration variable
TJ	térajoule
TWh	térawatt-heure
UE/EU	Union Européenne
W _c	watt-crête

