



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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

**Commission fédérale de la recherche énergétique CORE**

# Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2013–2016

Élaboré par la  
Commission fédérale de la recherche énergétique CORE

## **Impressum**

Août 2012

Éditeur :

Commission fédérale pour la recherche énergétique CORE

Direction :

Tony Kaiser, président CORE

Auteurs :

Partie générale : Katja Maus et Rolf Schmitz

Travail et habitat : Andreas Eckmanns

Mobilité : Robert Horbaty et Stefanie Huber

Systèmes énergétiques : Gunter Siddiqi

Processus : Stephan Renz

CORE Secrétariat

c/o Office fédéral de l'énergie OFEN

CH-3003 Berne

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

[www.ofen.admin.ch](http://www.ofen.admin.ch)

Commande de la publication : [www.recherche-energetique.ch](http://www.recherche-energetique.ch)

# Sommaire

<b>Vision</b>	<b>4</b>
<b>La recherche au service de la politique énergétique</b>	<b>5</b>
<b>Contexte scientifique</b>	<b>6</b>
<b>Objectifs</b>	<b>10</b>
Thèmes centraux	
<b>Travail et habitat de demain</b>	<b>12</b>
<b>Mobilité de demain</b>	<b>18</b>
<b>Systemes énergétiques de demain</b>	<b>24</b>
<b>Processus de demain</b>	<b>32</b>
<b>Recommandations pour la politique de recherche</b>	<b>38</b>

# Vision

Le présent Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération repose sur la vision ci-après. Celle-ci est élaborée par la Commission fédérale de la recherche énergétique CORE et est soutenue conjointement par la communauté des chercheurs de Suisse.

En apportant une contribution importante à des modes de conversion, de stockage, de fourniture et d'utilisation de l'énergie qui soient performants et peu polluants, la recherche énergétique suisse promeut, au niveau national et au niveau international, un approvisionnement énergétique sûr, économiquement et écologiquement supportable. En outre, elle soutient la politique de l'énergie.

# La recherche au service de la politique énergétique

Le présent Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération est une vision de la communauté des chercheurs de Suisse et un instrument de planification au service des instances de promotion de la Confédération. Par ailleurs, le présent Plan directeur est conçu comme un moyen d'information qui s'adresse aux organes cantonaux ou communaux qui se voient confier la mise en œuvre de la réalisation des objectifs de la politique énergétique ou qui disposent de leurs propres instruments d'encouragement de la recherche énergétique.

## La CORE

La Commission fédérale pour la recherche énergétique (CORE) a été instituée en 1986 par le Conseil fédéral à titre d'organe consultatif fédéral dans le domaine de la recherche énergétique. La CORE élabore tous les quatre ans le Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération, supervise la recherche énergétique menée en Suisse, donne son avis sur les travaux de recherche énergétique relevant de la Confédération et donne une information appropriée sur les développements et les enseignements relatifs à la recherche énergétique. La CORE comprend 15 membres représentant l'industrie, la science et la politique. La liste des membres est disponible sur [www.recherche-energetique.ch](http://www.recherche-energetique.ch).

Le présent Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération concerne la période 2013–2016. Il a été rédigé par la CORE en tenant compte des avis des principaux représentants issus du domaine de la recherche énergétique en Suisse. Il se fonde sur les connaissances scientifiques internationales récentes.

## Contexte de la politique énergétique

Dans le cadre de la **politique climatique** suisse, il a été décidé en 2008 de diminuer les émissions de CO<sub>2</sub> du pays de 20 % par rapport à 1990. La « nouvelle politique énergétique » du Conseil fédéral vise de plus l'abandon de l'énergie nucléaire après la fin de l'exploitation des centrales nucléaires existantes. La politique énergétique du Conseil fédéral repose sur les quatre piliers suivants: **Efficacité énergétique**: La principale mesure permettant d'assurer le futur approvisionnement énergétique consiste à utiliser de manière plus économique la ressource qu'est l'énergie.

**Énergies renouvelables**: La force hydraulique doit rester la principale énergie renouvelable servant à la production d'électricité dans notre pays. Elle doit être développée avec mesure. Il faut augmenter la part des autres énergies renouvelables dans la production d'électricité.

**Grandes centrales**: À partir de 2020, de grandes centrales importantes ne fourniront plus d'électricité. Pour couvrir la consommation d'électricité à partir de ce moment, il faudra soit de nouvelles grandes centrales conventionnelles, des importations d'électricité, soit un nombre plus élevé de petites installations de couplage chaleur-force (CCF).

**Politique énergétique extérieure**: Le renforcement de la coopération internationale, plus particulièrement avec l'UE, est un pilier essentiel de la stratégie énergétique.

Au titre de la **nouvelle politique suisse de l'énergie**, on a défini cinq champs d'action dans lesquels il importe de renforcer la recherche, à savoir: les technologies de l'efficacité; les systèmes énergétiques; les réseaux (y c. le transport d'électricité); le stockage d'énergie; la fourniture de courant; les questions socio-économiques et juridiques. Le plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération couvre ces cinq champs d'action, tout en allant au-delà du domaine de l'électricité. La CORE souligne que les efforts accrus qui y seront consacrés ne doivent pas se faire au détriment de la recherche dans les domaines non directement liés à la nouvelle politique énergétique tels la combustion ou les questions cruciales de l'habitat, du travail et de la mobilité. Ainsi les objectifs proposés précédemment dans le plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération gardent toute leur valeur dans la nouvelle politique énergétique.

De plus, le **Masterplan Cleantech en Suisse**<sup>1)</sup> formule des objectifs, des champs d'action et des mesures pour améliorer la compétitivité suisse en matière d'efficacité des ressources et d'énergies renouvelables.

L'**Union européenne** poursuit jusqu'en 2020 la **stratégie** appelée «20/20/20» qui prévoit, par rapport à 1990, 20 % d'économie d'énergie, 20 % de réduction des émissions de gaz à effet de serre et 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie totale de l'UE.

<sup>1)</sup> [www.cleantech.admin.ch](http://www.cleantech.admin.ch)

# Contexte scientifique

L'**IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)** préconise de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 50 à 85 % d'ici à 2050, par rapport au niveau de 2000, si l'on souhaite limiter le réchauffement climatique mondial à une fourchette de température comprise entre 2 et 2,4 °C.<sup>1)</sup>

L'**Agence internationale de l'énergie (AIE)** a, pour sa part<sup>2)</sup>, formulé différents scénarios en matière d'évolution des émissions de CO<sub>2</sub>. Dans le **scénario de base**, où les pouvoirs publics ne prennent aucune nouvelle mesure, la consommation d'énergie primaire augmenterait de 83 % entre 2011 et 2050, et les émissions de CO<sub>2</sub> doubleraient.

Dans le **scénario BLUE-Map**, l'objectif de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> est de 50 % par rapport au niveau de 2005. Les technologies existantes ou futures à faibles émissions de CO<sub>2</sub> qui permettront d'atteindre cet objectif sont détaillées dans la figure 1.

Dans son Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2008–2011, la CORE avait déjà énoncé, comme principes généraux pour 2050, les objectifs suivants :

- Suppression du recours aux combustibles fossiles pour la production de chaleur dans les bâtiments (existants ou à construire).
- Diminution de moitié de la consommation d'énergie dans les bâtiments. Consommation actuelle d'énergie primaire : 500 PJ.
- Triplement au minimum du recours à la biomasse en tant que source d'énergie. Utilisation actuelle de la biomasse : 37 PJ.
- Réduction de la consommation moyenne d'énergies fossiles par les voitures à 3 l aux 100 km. Consommation actuelle : 7,6 l aux 100 km.

Ces objectifs énoncés par la CORE s'appuient sur l'hypothèse selon laquelle les prestations énergétiques pourront augmenter malgré tout de 60 % d'ici à 2050 – par exemple, en raison des distances parcourues, des surfaces habitables ou des biens produits.

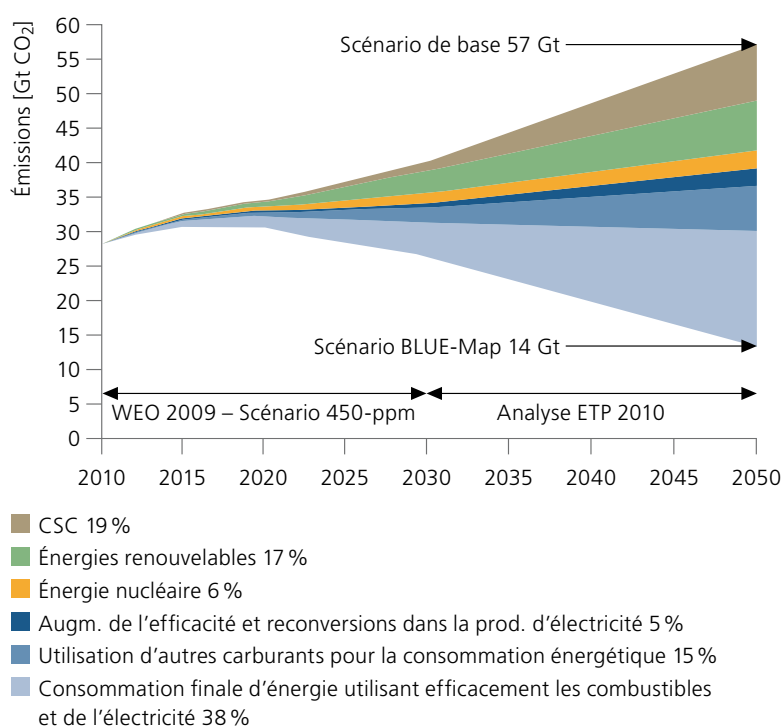


Figure 1 : Technologies-clés pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub> dans le scénario BLUE-Map de l'AIE. (IEA Energy Technology Perspectives 2010)

<sup>1)</sup> WEO : World Energy Outlook, [www.iea.org](http://www.iea.org)

<sup>2)</sup> ETP : Energy Technology Perspectives 2010, [www.iea.org](http://www.iea.org)

**En Suisse**, le débat s'articule autour de deux visions, élaborées par les EPF<sup>1)</sup> et caractérisées par des points de vue différents: celle d'une *société à 2000 watts* met l'accent sur l'efficacité énergétique et impose de réduire la consommation d'énergie primaire par personne à un niveau correspondant à une consommation continue de 2000 watts d'ici à 2100, contre 6500 watts en 2010 pour la Suisse. Quant à la vision d'une *société à une tonne de CO<sub>2</sub>*, elle tolère une consommation énergétique plus importante, pour autant qu'elle soit couverte avec des sources d'énergie renouvelables, l'essentiel étant que les émissions de CO<sub>2</sub> ne dépassent pas, à long terme, le plafond d'une tonne par personne et par an.

La comparaison de ces deux écoles de pensée dans la figure 2 montre qu'elles induisent des baisses similaires dans les prochaines années.

Le Conseil des EPF s'est appuyé sur ces deux scénarios pour fixer les objectifs suivants, s'agissant de la seconde moitié du XXI<sup>e</sup> siècle:

- Une division par un facteur 2 à 3 des besoins en énergie primaire de la Suisse.
- Une réduction des émissions de CO<sub>2</sub> à une tonne par personne et par an.
- Des émissions polluantes et déchets non problématiques pour l'être humain et l'environnement.
- Une réduction sensible des flux de matériaux liés à la fourniture d'énergie par rapport à aujourd'hui et fermeture des cycles de matières.

De cette baisse découlent, pour la recherche énergétique, deux approches possibles dans un avenir proche: d'une part, utiliser l'énergie plus efficacement pour réduire les besoins en énergie primaire, et, d'autre part, remplacer les ressources limitées en énergies fossiles par des énergies renouvelables ou par d'autres sources énergétiques neutres en CO<sub>2</sub> afin de diminuer les émissions de gaz à effet de serre (décarbonisation).

À long terme, les deux visions – 2000 watts et une tonne de CO<sub>2</sub> – diffèrent considérablement. En optant pour l'un ou l'autre concept, l'on privilégie ou l'on rejette certaines technologies. La stratégie de décar-

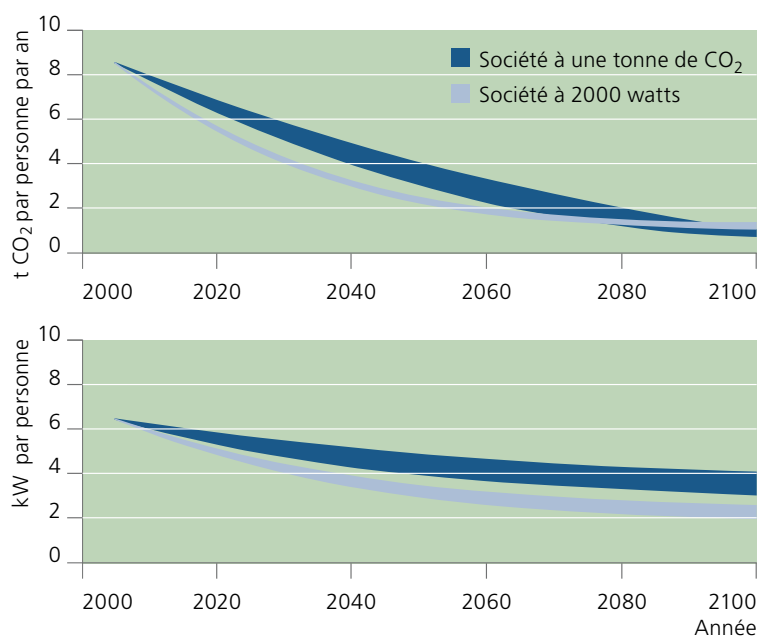


Figure 2: Options envisageables pour réduire la consommation d'énergie primaire / les émissions de CO<sub>2</sub> selon le concept de la société à 2000 watts (PSI, CCEM, Novatlantis) / à une tonne de CO<sub>2</sub> (EPF Zurich).

Dans un avenir proche, les baisses sont similaires, mais en 2050, les différences entre les deux scénarios sont plus manifestes: la stratégie axée sur la décarbonisation permet de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> à 3 ou 4 tonnes, pour une consommation d'énergie primaire de 4 à 5,5 kW, tandis qu'avec la stratégie axée sur l'efficacité, ces chiffres sont d'environ 2 tonnes de CO<sub>2</sub> et d'un peu plus de 3 kW de consommation énergétique.

À la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, les deux stratégies atteignent le même objectif d'une tonne d'émissions de CO<sub>2</sub>, mais avec des besoins énergétiques différents.

<sup>1)</sup> Fact Sheet du Conseil des EPF (avril 2009): «En route vers les systèmes énergétiques de demain»

bonisation repose notamment sur des technologies telles que le captage et le stockage du CO<sub>2</sub> ou le recyclage. D'ici la moitié du siècle, l'on sera en mesure de déterminer la voie la plus sée.

### Transfert des connaissances et des technologies

Il est essentiel que les écoles supérieures **transfèrent leurs connaissances et leurs technologies** à l'industrie afin que les résultats obtenus dans la recherche apportent une valeur ajoutée sur le marché, d'autant que la Suisse dispose, en matière de transfert des technologies, d'un réel potentiel par comparaison avec l'étranger (voir la figure 3).

Les installations pilotes et de démonstration devraient être planifiées à un stade précoce avec l'industrie, car elles permettent d'évaluer la faisabilité technique des projets ainsi que les possibilités de réalisation à plus grande échelle. Il serait alors plus aisé de trouver des investisseurs pour lesquels le risque serait trop grand sans cette exigence.

Les connaissances doivent également être transmises et appliquées, d'où l'importance de la formation des **scientifiques et des techniciens**. La Confédération doit, par ailleurs, veiller spécifiquement à ce que les spécialistes soient suffisamment nombreux pour installer les équipements requis.

### Apports des sciences sociales

Selon ce septième plan directeur de la recherche énergétique, la recherche socio-économique doit assumer trois tâches importantes, à savoir : premièrement, étudier, au sein de chaque point fort, les comportements humains et le fonctionnement du marché, afin de mieux comprendre les motivations des acteurs et les effets de chaque instrument politique engagé ; deuxièmement, établir la relation entre les différents points forts de la recherche ainsi que les potentiels et les coûts relatifs. En effet, ces points forts sont étroitement imbriqués entre eux, tant au plan économique qu'à celui de la société, de sorte que seules des solutions transversales prévaudront à long terme. Troisièmement, la recherche socio-économique doit analyser, sans égard aux points forts, les conditions cadres politiques, économiques et sociales, et les effets qu'elles entraînent. Il importe que la recherche aide à mieux faire comprendre le comportement des acteurs du marché et les liens qui les unissent. A titre d'exemple, les modèles macro-économiques sont un instrument de première importance pour évaluer les effets des scénarios envisagés. En poursuivant ces trois lignes d'investigation, la recherche socio-économique peut fournir un apport substantiel à la concrétisation d'une perspective énergétique. Les questions étudiées permettront d'éclairer la situation en améliorant les modèles, la conception des expériences, les méthodes d'appréciation et les bases de données.

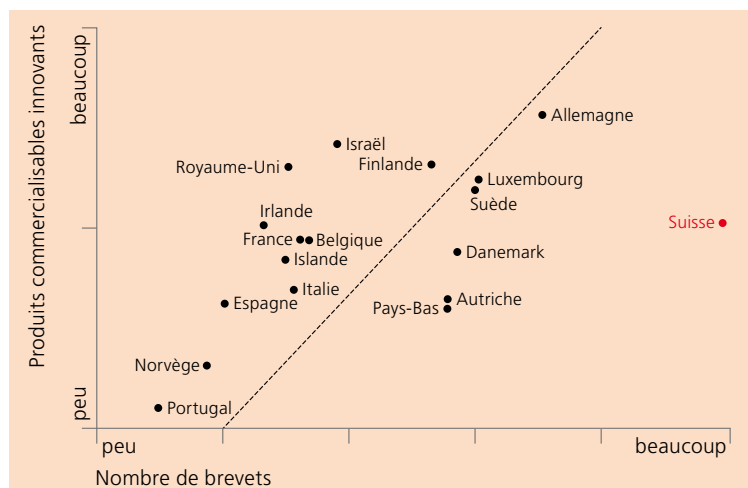


Figure 3 : La Suisse obtient de nombreux brevets, mais les transforme trop rarement en produits commercialisables (Swiss American Chamber of Commerce, European Innovation Scoreboard 2007).



### **Collaboration internationale**

La collaboration internationale améliore l'efficacité des ressources mises à disposition de la recherche, mais pour qu'elle soit fructueuse, il faut que la Suisse participe activement aux programmes internationaux et que sa contribution soit de haute qualité et reconnue. La collaboration doit aussi s'étendre au-delà des pays industrialisés et jusqu'à ceux en développement.

Outre les services fédéraux responsables – Secrétariat d'État à l'éducation et à la recherche (SER), Offices fédéraux de l'énergie (OFEN), de l'environnement (OFEV), et de la formation professionnelle et de la technologie (OFFT) –, il y a lieu de renforcer les liens entre la Suisse et l'Agence internationale de l'énergie (AIE) ainsi qu'avec les programmes de recherche européens (les programmes-cadres de recherche et de développement technologique PCRDT, SET-Plan<sup>1)</sup>, programmation conjointe, etc.).

---

<sup>1)</sup> SET: Strategic Energy Technology, [www.setis.org](http://www.setis.org)

# Objectifs

La recherche énergétique doit s'appuyer sur une approche englobante et être axée sur le développement durable. Le présent Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération prend en considération l'ensemble de la chaîne de création de valeur « recherche – innovation – marché » et intervient à différents niveaux.

La recherche énergétique financée par les pouvoirs publics doit dégager des résultats correspondant aux normes de qualité les plus élevées.

## Aspects techniques

Pour toutes les applications destinées à fournir, à convertir et à stocker l'énergie, on doit tendre à rapprocher autant que possible l'état des technologies, pour autant que cela soit faisable économiquement, du potentiel technique.

## Aspects économiques

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

## Préservation des ressources

Pour la CORE, la recherche énergétique doit viser avant tout l'amélioration de l'efficacité énergétique et de l'utilisation rationnelle des ressources ainsi que le recours accru aux énergies renouvelables et la réduction des émissions qui en découle.

## Aspects sociaux

Mais la recherche énergétique doit également contribuer à une prise de conscience: pour atteindre les objectifs mondiaux de protection de l'environnement, l'on ne peut se contenter de mesures techniques, les comportements devront changer. D'où la nécessité de répondre à certaines questions à propos de l'acceptation des nouvelles technologies ou des incitations destinées à accélérer leur commercialisation. On étudiera pour cela la conversion, la distribution et l'utilisation de l'énergie dans leurs aspects économiques, sociologiques et psychologiques, voire politologique.

## Quatre thématiques prioritaires

La CORE a défini quatre thématiques prioritaires sous lesquelles grosso modo se rangent tous les domaines de la recherche énergétique et qui reflètent la vie quotidienne et les besoins énergétiques correspondants. Elles sont également considérées à l'étranger comme les principales approches permettant de renforcer l'efficacité et de réduire les émissions.

Ces thématiques une fois fixées, il devrait en découler les grands axes de la recherche selon une approche descendante ainsi qu'un renforcement de la pensée systémique. Il faudra également simplifier la communication au sujet du Plan directeur et mieux promouvoir la recherche intersectorielle.

### L'habitat et le travail de demain

Vers des lotissements à haute performance énergétique et pratiquement sans rejets de CO<sub>2</sub>: cette thématique englobe des technologies et des concepts spécifiques en matière de besoins énergétiques et de conversion de l'énergie dans les bâtiments ainsi que la fourniture décentralisée d'énergies renouvelables dans l'immobilier.

### La mobilité de demain

Consommer moins de carburant grâce à une mobilité efficace et à des techniques de propulsion avancées: la mobilité de demain s'intéresse à la performance énergétique, à la protection de l'environnement et à l'approvisionnement énergétique liés aux déplacements, et donc également à la disponibilité et à l'utilisation du carburant dans les transports privés et publics ainsi que dans le fret.

### Les systèmes énergétiques de demain

Des systèmes énergétiques intelligents et interconnectés assureront un approvisionnement énergétique sûr et durable. Cette thématique s'intéresse à la recherche et au développement de technologies de fourniture d'énergie, et ce jusqu'à son utilisation par le consommateur final.

### Les processus de demain

L'utilisation des ressources et la charge sur l'environnement doivent diminuer de moitié : grâce aux processus de demain, les dépenses énergétiques et matérielles sur l'ensemble du cycle de vie des produits seront réduites au minimum, de la fabrication à l'élimination/au recyclage en passant par l'utilisation.

Les quatre thématiques sont étroitement liées, tant du point de vue technique qu'économique ou social, et sont toutes largement marquées par les **aspects sociaux** : en effet, le comportement humain, la concrétisation des résultats de la recherche en produits commercialisables et la compréhension du fonctionnement des marchés sont autant d'éléments décisifs dans la réalisation des objectifs fixés. La tâche de la recherche socio-économique est triple : elle doit étudier tout d'abord, pour chaque thématique, le comportement humain et l'effet des instruments de politique énergétique.

Elle doit ensuite créer des liens entre les différentes thématiques et mettre en exergue les potentiels et les coûts pertinents. Puis enfin, elle doit analyser le contexte politique, économique et social. Toute solution efficace sur le long terme devra donc valoir pour les quatre thématiques.

Précisons encore que, pour pouvoir fixer des priorités, il faut que les mesures et les technologies puissent être évaluées et pondérées à l'aune d'un système unique.

### Échéances fixées pour les objectifs

Dans les chapitres suivants, des priorités et des objectifs sont définis pour chacune des thématiques, avec deux perspectives temporelles distinctes :

- priorités à moyen ou à long terme (horizon 2020–2050) ;
- objectifs à court terme, relatifs à la période couverte par le présent Plan directeur de la recherche énergétique de la Confédération 2013–2016.

# Travail et habitat de demain

Sur la voie d'un habitat et d'un travail énergétiquement performants et pratiquement sans dégagements d'émissions : à l'avenir, le parc immobilier devra être exploité presque sans dégagements de polluants ni de gaz à effet de serre. Les bâtiments ont un rôle important à jouer dans la fourniture décentralisée d'énergie ; globalement, ils devront produire la chaleur et l'électricité nécessaires pour se loger et pour travailler.

Pour réaliser cette vision, des recherches sont menées, dans le cadre de la thématique prioritaire « Habitat et travail de demain », sur des technologies et des idées qui concernent les besoins énergétiques, la transformation et l'utilisation de l'énergie ainsi que la fourniture locale d'énergies renouvelables dans des bâtiments, des quartiers, des cités et des villes.

Étant donné le rapport coût-utilité, les solutions diffèrent, selon que les bâtiments existent déjà, ou qu'ils doivent être construits, d'où les défis suivants pour la recherche :

La consommation énergétique (d'énergie livrée) des **bâtiments existants** doit fortement diminuer, et ceux-ci doivent être exploités sans émettre de CO<sub>2</sub>.

L'exploitation de **nouveaux bâtiments** ne doit générer aucune émission nuisible à l'environnement. Les émissions causées par leur construction et leur démantèlement doivent diminuer d'un ordre de grandeur.

Pour ce faire, il faut développer des **technologies et des concepts** de recherche permettant une obtention, une transformation et une utilisation intelligentes de l'énergie dans le domaine du bâtiment. La recherche dans ce domaine doit être aussi bien **technologique** que **socio-économique**. Le savoir élaboré doit finalement être mis en œuvre et commercialisé dans des instruments de conception et d'exécution, puis passer dans le marché.

Les interfaces avec les autres thématiques prioritaires doivent être intégrées dans ce processus, comme, par exemple, l'influence de l'emplacement des bâtiments et de l'aménagement du territoire sur la mobilité.

## Contexte

Les bâtiments occasionnent 45 % de la consommation d'énergie primaire et 40 % du total des émissions de CO<sub>2</sub> en Suisse. Il existe ainsi un grand potentiel d'amélioration. De ce fait, diverses stratégies nationales et internationales demandent que le parc immobilier soit foncièrement repensé sur la base de critères de développement durable. Au niveau national, ces stratégies sont axées sur les scénarios d'une *société à 2000 watts* et d'une *société à une tonne de CO<sub>2</sub>* présentés en introduction. Par ailleurs, en collaboration avec la Confédération, des instituts des écoles polytechniques fédérales ainsi que la Ville de Zurich, la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA) a présenté, dans son cahier technique « SIA 2040 Effizienzpfad Energie » (en allemand seulement), son « Initiative pour l'efficacité énergétique IEE », une démarche de transformation visant l'efficacité énergétique à l'horizon 2050. Cette initiative intègre les deux scénarios. Il faut donc viser en permanence un total de 2000 watts pour l'énergie primaire non renouvelable et de 2 tonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par personne et par an. Près de la moitié en revient au domaine des bâtiments. Ces objectifs englobent non seulement l'énergie nécessaire à l'utilisation des bâtiments, mais aussi l'énergie grise comprise dans les matériaux de construction et celle consommée pour les trajets demandés par l'emplacement des bâtiments.

Les objectifs fixés à l'horizon 2050 dans le cadre de l'IEE tiennent compte de la faisabilité technique et de l'acceptabilité financière actuelles, tout en octroyant une certaine latitude architectonique et urbanistique. De ce fait, pour un objet déterminé, ils constituent les exigences minimales posées pour des projets pilotes et de démonstration (projets P & D).



Rénovation d'un bâtiment locatif au moyen d'éléments préfabriqués. Le projet «Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings (ECBCS Annex 50)» de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) développe, sous une direction suisse, des solutions novatrices permettant d'améliorer la performance de la rénovation des bâtiments locatifs. Les bâtiments sont mesurés en trois dimensions au moyen de scannage laser et de photographies aériennes. Les mesures relevées sont utilisées pour la préfabrication précise, en usine, des nouveaux éléments d'enveloppe. Les processus de construction sont ainsi fortement raccourcis. (Empa)

Il convient que les futures recherches menées pour la thématique prioritaire «Habitat et travail de demain» visent bien au-delà de ces objectifs de la SIA pour tenter de proposer des valeurs-cibles deux fois plus faibles.

## Priorités à moyen et à long terme

### Bâtiments existants

Si l'on veut réduire la consommation d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub>, il faut rénover les bâtiments existants de manière économiquement supportable. En ce qui concerne la rénovation énergétique, à partir d'un certain degré d'amélioration, les coûts augmentent fortement pour chaque unité d'énergie supplémentaire économisée. S'il est possible d'obtenir une même amélioration de l'efficacité ou de réduire tout autant les émissions de CO<sub>2</sub> qui en découlent au moyen d'autres mesures respectueuses de l'environnement, par exemple par le recours aux énergies renouvelables, il est économiquement plus pertinent d'investir dans la mesure la plus avantageuse. On ne dispose aujourd'hui ni des fondements méthodologiques ni

des instruments d'application permettant de comparer l'utilité de mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique avec celle de mesures de réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. L'élaboration de ces fondements et instruments est l'une des demandes essentielles faites à la recherche.

En ce qui concerne les **bâtiments d'habitation**, la recherche doit fournir des solutions permettant de diminuer la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre des bâtiments existants dans la perspective dessinée ci-dessus, par exemple, au moyen de nouveaux matériaux isolants très performants, à même de satisfaire aux exigences posées dans le cadre d'une rénovation, au moyen d'instruments novateurs, intégrant la conception des travaux et la gestion du bâtiment. Simultanément, il importe d'adapter les constructions aux besoins actuels de confort et d'espace. Pour les **bâtiments non destinés à l'habitation**, comme, par exemple, les bureaux, les écoles ou les bâtiments publics, il faut plus particulièrement utiliser la chaleur fournie par les ordinateurs ou par l'éclairage, mais également celle dégagée par les usagers, et

prendre cette perspective en compte dans la rénovation de l'enveloppe du bâtiment.

Concernant les **bâtiments qui présentent une valeur historique**, les solutions de rénovation devront avoir un impact aussi limité que possible sur l'aspect architectural des façades, des fenêtres et des autres éléments de construction.

Si l'on veut transformer le parc actuel, il faut augmenter les incitations à la rénovation, ce qui demande des conditions-cadres économiques et politiques adaptées. Il est demandé à la recherche d'élaborer les instruments et les fondements socio-économiques qui permettent de poser ces dernières.

Enfin, il convient que, en plus de se pencher sur les bâtiments pris isolément, la recherche élabore aussi des solutions pour assurer le développement durable **de quartiers, de zones et de villes entières**.

### **Nouvelles constructions**

Pour la construction de nouveaux bâtiments, la recherche doit porter en priorité sur les analyses de la consommation d'énergie et des émissions de CO<sub>2</sub> et de polluants tout au long du cycle de vie du bâtiment. Pour **diminuer les besoins énergétiques** liés à l'exploitation, des technologies sont nécessaires, qui permettent de réduire substantiellement les déperditions énergétiques et d'encourager la fourniture d'énergie au moyen de l'enveloppe du bâtiment. Dans ce cadre, il convient d'assurer la préservation de la diversité architecturale.

Une demande prioritaire faite à la construction de nouveaux bâtiments est la **diminution de l'énergie grise et des émissions grises**, par exemple par le développement de nouveaux matériaux et outils de planification.

### **Technologies du bâtiment**

Selon la vision des « Zero Energy Buildings » ou celle de la « Maison à énergie positive », il faut que le bâtiment de demain fournisse plus d'énergie. Il est demandé à la recherche que celle-ci développe des technologies innovantes pour gagner de l'énergie dans les bâtiments existants et dans les nouveaux bâtiments, d'une part, et pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments, d'autre part.

Pour ce faire, il faut que **les technologies de fourniture d'énergies renouvelables** dans les bâtiments soient améliorées et que de nouvelles technologies soient développées dans ce domaine. Il en va de même pour les technologies qui permettent l'utilisation des rejets thermiques. Une grande importance doit être accordée à l'intégration architecturale. De plus, il faut améliorer la **standardisation et la fiabilité** de ces technologies.

Un élément essentiel en matière de technologies du bâtiment est le **stockage de la chaleur et du froid**. En plus de la faisabilité technique de telles solutions, leur rentabilité est un critère central.

Les **appareils électriques** – transformateurs et consommateurs d'énergie – doivent gagner en efficacité grâce à l'intégration d'intelligence; ils doivent notamment présenter des déperditions minimales en mode veille.

Enfin, des solutions innovantes sont nécessaires pour que des **réseaux relient les bâtiments entre eux** afin d'optimiser la gestion de la fourniture d'énergie et la gestion de la charge dans les bâtiments, dans les quartiers et dans les zones résidentielles.

### **Intégration du travail et de l'habitat**

Pour qu'il soit possible d'habiter et de travailler dans une perspective durable dans ce parc immobilier optimisé, il faut que soient développés des **projets d'aménagement des zones habitées ainsi que des modèles novateurs dans les domaines de l'habitat et du travail**. De plus, le **comportement des utilisateurs** doit être amélioré au moyen de technologies et de concepts modulés en fonction des catégories de consommateurs ou des groupes d'âges.

## Sujets de recherche 2013–2016

La liste ci-dessous présente une sélection de thèmes de recherche qui doivent être abordés durant la période 2013–2016. Des objectifs chiffrés et concrets sont indiqués dans la mesure et là où cela s'avère pertinent et possible.

### **Bâtiments existants**

#### **Rénovation rentable des bâtiments existants**

- Méthodes de calcul et instruments de planification novateurs pour diminuer la consommation d'énergie et les émissions de CO<sub>2</sub> dans le cadre d'une rénovation de bâtiment en visant le meilleur rapport coût-utilité possible. La perspective doit englober tout le cycle de vie des bâtiments
- Matériaux isolants ultraperformants pour la rénovation de bâtiments, présentant une conductibilité thermique ( $\lambda$ ) maximale de 20 mW/(m · K) et se prêtant au façonnage (découpe) sur le chantier même.
- Méthodes et instruments permettant de maîtriser les déperditions énergétiques au travers de l'enveloppe des bâtiments non destinés à l'habitation, compte tenu des apports thermiques intérieurs.
- Démonstration de solutions permettant de rénover énergétiquement des bâtiments historiques (conservation du patrimoine)
- Détermination de la juste pondération entre les instruments et les conditions-cadres (prescriptions comprises) de la politique énergétique, qui permette d'accélérer la transformation du parc actuel de bâtiments en un parc durable
- Analyse des coûts et de l'utilité de diverses stratégies de rénovation ainsi que de l'acceptation et des obstacles qu'elles peuvent rencontrer
- Démonstration de la pertinence de principes et stratégies de développement durable de zones, quartiers et villes, selon le principe des « villes intelligentes » (« smart cities »)

### **Nouvelles constructions**

#### **Minimisation de la consommation énergétique, des polluants et des émissions tout au long du cycle de vie**

- Démonstration de la pertinence de prototypes de nouveaux matériaux de construction innovants destinés aux enveloppes de bâtiments (panneaux d'isolation sous vide, éléments de bâtiments dynamiques, fenêtres évacuées, vitrages échangeables)
- Concepts, nouvelles technologies et nouveaux matériaux permettant de minimiser l'énergie grise et les émissions grises (par exemple, remplacement de métaux dans différentes fonctions, telles que structure portante, enveloppe du bâtiment, technique du bâtiment, etc.)
- Aspects sociopsychologiques de l'acceptation des avancées technologiques concernant l'efficacité énergétique des bâtiments

## Technologies du bâtiment

### Technologies permettant de couvrir les besoins énergétiques des bâtiments

- Composantes solaires et procédures d'essais innovantes, plus particulièrement pour les capteurs hybrides destinés à la fourniture de chaleur et l'électricité
- Climatisation des bâtiments avec appoint solaire
- Analyse et documentation des configurations standard comprenant des systèmes de pompes à chaleur et du solaire thermique
- Amélioration du rendement des machines thermodynamiques (pompe à chaleur, machine de préparation de froid). Il faut viser à améliorer le rendement théorique en le faisant passer de 45 % aujourd'hui à 65 % à 70 % (coefficient de déperditions internes)
- Optimisation en termes de rentabilité de la profondeur de forage nécessaire aux sondes géothermiques utilisées pour les pompes à chaleur, en combinaison avec la régénération solaire et (partiellement) avec le stockage saisonnier
- Solutions globales d'amélioration de l'exergie pour le refroidissement des bâtiments
- Réfrigérants novateurs, présentant un coefficient ODP = 0 (« Ozone Depletion Potential » qui exprime le potentiel de destruction de la couche d'ozone) et un coefficient GWP < 5 (« Global Warming Potential » qui exprime le potentiel de participation au réchauffement climatique)
- Eléments de façade solaires (PV, chaleur solaire) à géométrie variable et avec des qualités esthétiques pour une bonne intégration au bâtiment
- Installation à CCF destinée à des bâtiments : priorité aux énergies renouvelables ou exemptes de CO<sub>2</sub> (biomasse, hydrogène), optimisation du CCF, but :  $\eta_{tot} > 95 \%$ ,  $\eta_{el} > 50 \%$
- Critères permettant d'évaluer quand une installation à CCF est plus indiquée qu'une solution combinées gaz et vapeur (TAG-TAV) centralisée
- Nouveaux matériaux et concepts innovants pour le stockage de chaleur et de froid (stockage saisonnier pour les bâtiments et les quartiers, accumulateurs techniques de chaleur et de froid avec forte densité de stockage, etc.)
- Solutions de rénovation innovantes pour les systèmes de ventilation et de climatisation (degré d'intervention, coûts, ventilation calquée sur les besoins)
- Les appareils électriques – transformateurs et consommateurs d'énergie – doivent gagner en efficacité et présenter des déperditions minimales en mode veille (réfrigérateurs, éclairages LED « Retrofit », etc.)
- Solutions en matière de technologies d'information et de communication (TIC) adaptées aux besoins des utilisateurs : interfaces, compteurs et réseaux intelligents (« Smart User Interface, Smart Metering, Smart Grids »); techniques de réglage et de pilotage auto-adaptatives ; recherches portant sur l'influence de ces techniques sur la consommation de chaleur et d'électricité des appareils et des bâtiments
- Développement de modes de service et d'opération professionnels pour les technologies du bâtiment décentralisées
- Analyse des possibilités de stockage thermoélectrique dans les ménages
- Accumulateurs jour/semaine de chaleur et de froid
- Gestion de la charge et de la production des bâtiments en interaction avec le réseau électrique et d'éventuels accumulateurs techniques et capacités de stockage internes (y c. véhicules électriques)



### **Intégration du travail et de l'habitat**

#### **Habitat et travail dans un parc immobilier optimisé du point de vue de l'énergie et des émissions de gaz à effet de serre**

- Effets du domicile et des modes de déplacement choisis, acceptation de nouveaux modèles d'habitat et de travail, développement de solutions permettant de diminuer la circulation induite par l'emplacement des bâtiments
- Effets de rebond dans les domaines de l'habitat et du travail (nombre et puissance des appareils électroniques, à mettre en regard d'un habitat énergétiquement performant); mise au point de stratégies d'économie pour éviter ces effets
- Stratégies et concepts adaptés aux différents segments de consommateurs pour améliorer le comportement de ces derniers en tenant compte de leurs besoins
- Analyse socio-économique du rôle des propriétaires de maisons en tant que producteur d'électricité
- Quantification de l'influence de l'évolution climatique et du microclimats des zones d'habitation et des villes sur le chauffage et le refroidissement nécessaires pour les bâtiments, et son intégration dans les outils de planification
- Réflexions en vue de créer de nouvelles formes d'habitat économes d'espace et de ressources
- Analyse des divergences entre la consommation d'énergie calculée avant la construction d'un bâtiment et sa consommation mesurée; recommandations induites

# Mobilité de demain

Diminution de la consommation de carburants par des déplacements efficaces et des techniques de propulsion avancées : une mobilité flexible et performante contribue fortement à l'économie et au développement. L'un des buts poursuivis est de diminuer substantiellement à l'avenir la consommation énergétique totale ainsi que les émissions polluantes et celles qui affectent le climat, malgré la croissance. Pour y parvenir, il convient : d'encourager la recherche & développement dans le domaine des technologies particulièrement performantes pour les transports ; d'accélérer une large diffusion de ces technologies et de promouvoir une mobilité bien pensée par des changements de comportements.

La thématique prioritaire de la mobilité est conçue à plusieurs niveaux pour atteindre les objectifs convenus. La mobilité englobe notamment l'efficacité et l'écocompatibilité, l'approvisionnement énergétique et la disponibilité des carburants, tout comme l'utilisation des transports, publics et privés, sur la route, le rail, l'eau et l'air. Les défis qui se posent à la Suisse en l'occurrence relèvent des domaines suivants :

Pour réduire la consommation énergétique, il faut des **systèmes de véhicules efficaces**, tels que des moteurs qui consomment peu et qui émettent peu, ainsi que des systèmes de propulsions avancés, combinés à des réservoirs d'énergie innovants.

L'amélioration de l'efficacité et la diminution des atteintes à l'environnement passent aussi par des **systèmes de circulation efficaces** et globaux. Une telle gestion nécessite non seulement des modèles attrayants pour les transports publics et pour la mobilité combinée, mais aussi des systèmes d'information et de communication innovants.

La **substitution de carburants fossiles** implique que des carburants d'origine biogène ou provenant d'autres sources renouvelables soient disponibles et rentables. Il faut aussi que l'infrastructure correspondante soit disponible et que les systèmes de propulsion soient optimisés pour s'adapter à ces nouveaux agents énergétiques.

Le **comportement des utilisateurs** est lui aussi déterminant pour diminuer la consommation. Il faut comprendre quelle mobilité est adaptée et comment il est possible de combiner des moyens de transport différents (intermodalité). Une information globale (sous forme d'écobilans, par exemple) et une meilleure compréhension de l'acceptation de nouveaux instruments, technologies ou modèles d'affaires sont donc nécessaires.

Si l'on veut qu'elle soit adaptée, il faut appréhender la mobilité dans une perspective globale, en tant que système lié à la fois à l'approvisionnement énergétique, à l'habitat, au travail et à l'aménagement du territoire.

## Contexte

Grands consommateurs d'énergie fossile, les transports émettent près de 40 % du CO<sub>2</sub> du pays. Divers scénarios et concepts concernant la mobilité de demain ont été préparés en Suisse comme à l'étranger, dans l'UE notamment, par des institutions telles que l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la European Climate Foundation, l'Energy Science Center de l'EPFZ, des offices fédéraux ainsi que le Trialogue Énergie Suisse (ETS). Ces scénarios et concepts ont été comparés et, le cas échéant, adaptés aux besoins et spécificités des pays. Voici les objectifs concrets de mise en oeuvre à l'horizon 2050 sur la base des évaluations faites par des spécialistes suisses :

L'utilisation d'agents énergétiques fossiles pour le transport de personnes et de marchandises **doit être diminuée de moitié** par des améliorations de la transformation de l'énergie, des pièces, de la façon de conduire et des systèmes de véhicules.

Concernant les déplacements individuels motorisés, la **consommation de carburant des nouveaux véhicules** doit être divisée par un **facteur 3**.

Les **déplacements sur de courtes et moyennes distances** doivent être globalement décarbonisés, par exemple par le développement de l'électromobilité et par des technologies de stockage efficaces.

En ce qui concerne les **déplacements sur de longues distances**, il faut diminuer la consommation énergétique et les émissions de CO<sub>2</sub> qu'ils induisent par les moyens suivants: substitution des carburants fossiles, transfert modal vers les moyens de transport les plus efficaces et approches de gestion innovantes.



*Des scientifiques de l'EPFZ ont développé un véhicule **hybride, qui combine l'essence et l'air comprimé** et dont la consommation de carburants est inférieure de 30% aux systèmes de propulsion traditionnels pour un surcoût de 20% seulement. Une propulsion hybride économise 35% d'énergie environ, mais son surcoût est de 200% par rapport à un véhicule à essence de même puissance. Ce projet a rencontré un grand écho international. La mise en œuvre de ce projet est prévue en collaboration avec l'industrie automobile.*

## Priorités à moyen et à long terme

### **Substitution des combustibles fossiles**

Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, il faut non seulement améliorer l'efficacité de la propulsion, mais aussi employer des agents énergétiques et des carburants qui n'émettent pas de CO<sub>2</sub>. Le but poursuivi est la **décarbonisation** du trafic. Les trajets individuels sur de courtes distances doivent intégralement pouvoir se faire sans carburants fossiles. Pour les trajets sur des distances moyennes ou longues ainsi que pour les marchandises, les carburants fossiles doivent être progressivement remplacés par des agents énergétiques alternatifs.

La recherche devra être ciblée sur le développement de procédés de production des **agents énergétiques et des carburants alternatifs**. Ce sont, notamment, les biocarburants des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> générations, dont la production n'est pas en concurrence avec la production de denrées alimentaires, tels que les carburants fabriqués à partir de bois, de paille, de déchets de biomasse ou d'algues. S'y ajoute aussi l'hydrogène, produit grâce à l'énergie solaire, en tant que vecteur énergétique. En terme de thématique, la production de carburants, surtout celle d'hydrogène, est à ranger dans la thématique prioritaire des « Processus de demain ».

En ce qui concerne les nouveaux agents énergétiques, comme l'électricité ou l'hydrogène, un défi supplémentaire consiste à construire l'**infrastructure** nécessaire en la dotant de systèmes de comptabilisation. Les solutions à développer doivent être simples à utiliser, commercialisables et utilisables à large échelle. Les systèmes permettant d'effectuer une recharge rapide d'électricité, et les modèles commerciaux qui les accompagnent offrent un exemple de ces solutions.

Les **technologies mobiles de stockage** comme les batteries, les ultracondensateurs et les supercondensateurs sont déterminants pour appuyer la percée économique de la propulsion électrique.

D'autres systèmes peuvent contribuer à la substitution des carburants fossiles : ce sont notamment les systèmes qui permettent de combiner avec souplesse divers agents énergétiques, comme, par exemple, le

biogaz et le gaz naturel, ou différents systèmes de propulsion sans augmentation de la consommation ou des émissions de CO<sub>2</sub>. Des offres et des modèles commerciaux doivent aussi être développés pour permettre que les différents besoins en mobilité soient maîtrisés avec chaque fois le système de propulsion ou le véhicule le mieux adapté.

### **Efficacité des systèmes de gestion du trafic**

L'amélioration de la performance des systèmes de gestion du trafic peut également contribuer à la diminution de la consommation. Les **technologies de l'information et de la communication (TIC)** ont un rôle important à jouer à cet égard. Elles contribuent notamment à une meilleure utilisation de la capacité des véhicules, ou encore à la coordination entre les déplacements de personnes et les transports de marchandises pour améliorer l'utilisation de la route et du rail. De plus, les technologies de l'information forment la base sur laquelle construire des systèmes de sécurité active dans les véhicules. De tels systèmes sont un préalable indispensable à la large diffusion de véhicules de construction légère.

Une autre priorité est l'intégration de la mobilité dans les **réseaux de distribution** et les **systèmes de communication** existants. Exemple : la mise en relation de véhicules hybrides rechargeables (« Plug-in-Hybrid ») dans un réseau électrique intelligent.

Il est également très important que les transports publics soient conçus pour être particulièrement attractifs. Des solutions alternatives doivent être proposées pour les **trajets motorisés quotidiens sur de courtes distances**, ou encore pour faciliter la combinaison intermodale de divers moyens de transports tant au niveau local que national ou international.

### **Efficacité des systèmes de véhicules**

En matière de mobilité, la **diminution de la consommation de carburants** est cruciale. Des potentiels doivent être exploités dans ce domaine, consistant notamment à augmenter les rendements par diminution des tailles, par optimisation de la combustion (y c. par turbocompression), voire en optimisant tout le système de propulsion, par exemple par hybridation ou par l'exploitation plus poussée des rejets thermiques.

De plus, une diminution du poids des véhicules par des constructions légères contribue de manière importante à la diminution de la consommation.

Simultanément, les émissions de polluants et de bruit doivent être abaissées jusqu'à ce que les **véhicules n'en émettent pratiquement plus**. Dans ce domaine, des exemples de thèmes de recherche sont l'amélioration des catalyseurs et des filtres à particule, ou encore le développement de nouvelles technologies antibruit.

### Apports des sciences sociales

Si l'on veut concevoir des déplacements performants, il faut comprendre pleinement comment ceux-ci naissent et ce qui les influence. Les usagers doivent par ailleurs être informés de manière complète. Pour y parvenir, il faut **évaluer** les prestations de mobilité et de transport **dans leur globalité**, par exemple, au moyen d'analyses du cycle de vie, d'analyses systémiques globales, d'écobilans, ou encore d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, notamment.

Avant tout, il importe de mieux comprendre le choix du moyen de transport, le comportement à l'achat d'une automobile et les retombées de l'évolution démographique sur les comportements et les besoins des usagers de la route.

Il faut aussi assurer le développement de **concepts et de technologies qui évitent les déplacements** et mettre au point de nouveaux modèles d'affaires et de travail qui diminuent les déplacements ou qui en améliorent l'efficacité. Enfin, il convient que soient mieux compris les effets des nouveaux **concepts et des nouvelles technologies** ainsi que leur acceptation, qu'il s'agisse d'introduire de nouveaux instruments, comme les taxes incitatives liées au trafic, d'introduire des technologies ou des modèles commerciaux dans le domaine de l'électromobilité, ou encore de concevoir des incitations ou des systèmes de prix, comme, par exemple, les incitations dans le domaine des déplacements, par le prix de la mobilité (« Mobility-Pricing »).



*Les réductions substantielles de la consommation d'énergie par la mobilité rendent nécessaire l'implication des gens et de leur comportement : Comment se créent les besoins en mobilité et comment évoluent-ils avec de nouvelles technologies, de nouveaux modèles commerciaux, des changements démographiques ou des mesures politiques ? (Image: NZZ, 5.01.2010)*

## Sujets de recherche 2013–2016

La liste ci-dessous présente une sélection de sujets de recherche qui doivent être abordés durant la période 2013–2016. Des objectifs chiffrés et concrets sont indiqués dans la mesure et là où cela s'avère pertinent et possible.

### **Décarbonisation**

- Développement de pièces pour véhicules ou de systèmes permettant une utilisation plus efficace de carburants alternatifs (dont l'électricité) et d'agents énergétiques alternatifs (dont l'hydrogène et les biocarburants)
- Processus de fabrication de biocarburants de 2<sup>e</sup> génération, de bioéthanol fabriqué à partir de matières premières contenant de la lignose ou de la cellulose : diminution des coûts allant jusqu'à 50 %
- Véhicules de démonstration destinés à présenter des véhicules du trafic lent très performants, à même d'alléger efficacement le trafic individuel motorisé, surtout pour de courtes distances
- Amélioration des accumulateurs pour les utilisations mobiles, par l'augmentation de leur densité d'énergie qui doit passer de 120 Wh/kg environ actuellement (relativement à l'accumulateur en bloc) à 150 Wh/kg au moins, avec une durée de vie de 1500 cycles au moins
- Projets de démonstration concernant la large implantation de l'infrastructure permettant la recharge rapide des accumulateurs de voiture, y compris l'analyse et la minimisation des effets subis par les accumulateurs sur leur durée de vie
- Projets de démonstration et évaluation des possibilités de charge dans les villes et agglomérations, également en lien avec la production renouvelable directe de courant (photovoltaïque)

### **Systèmes de gestion du trafic**

- Développement de mesures et d'offres qui renforcent l'attrait des transports publics et des déplacements multimodaux, avec l'objectif que les transports individuels motorisés et les déplacements par avion soient transférés sur les transports publics
- Développement de mesures, de concepts et de composantes allant jusqu'aux premières applications en vue d'augmenter l'efficacité énergétique des transports publics jusqu'à 10 % (par exemple par une meilleure utilisation de la capacité des véhicules ou par l'amélioration de leur propulsion)
- Développement et mise en œuvre de concepts qui permettent de fluidifier l'exploitation du réseau de transports publics (par exemple, au moyen de recommandations en temps réel)
- Détermination des effets, sur l'approvisionnement en électricité, produits par un lancement sur le marché de véhicules hybrides rechargeables (« Plug-in-Hybrid ») et de véhicules électriques et analyse de l'influence de mesures susceptibles d'être prises
- Détermination des possibilités et quantification des potentiels que pourraient offrir les véhicules hybrides rechargeables (« Plug-in-Hybrid ») et les véhicules électriques pour influencer substantiellement le profil de charge de l'approvisionnement en électricité ; idem pour la fourniture stochastique d'énergie d'appoint au moyen de batteries de véhicules raccordés à des réseaux intelligents (« Smart Grids »)

### **Systèmes de véhicules**

- Développement de technologies de l'information et de capteurs servant de base à des systèmes de sécurité active embarqués dans les véhicules pour améliorer les conditions d'introduction dans le trafic de véhicules de construction légère
- Utilisation combinée de constructions légères, de carénages, de pneus légers et de propulsions ultra-efficaces pour abaisser jusqu'à 2,5 l/100 km environ la consommation des véhicules de tourisme suffisamment grands pour une famille
- Véhicules pilotes et projets de démonstration de concepts de recharge ou d'hybridation permettant des économies de carburant de 35 % au minimum par rapport à des véhicules de référence, pour un surcoût minimal
- Démonstration, au stade du banc d'essai, d'une augmentation, pour un cycle de conduite, de 3 % du rendement des moteurs à combustion des véhicules diesel lourds

### **Aspects socio-économiques et socio technologiques**

- Meilleure compréhension – en tenant compte de l'effet de rebond – des genres de technologies, d'instruments et d'incitations susceptibles d'éviter les déplacements professionnels et la circulation qui en découle (par exemple le télétravail) ainsi que les déplacements induits par les loisirs (par exemple des offres de proximité qui répondent à ces besoins)
- Analyses et essais sur le terrain concernant les possibilités et les limites de la désynchronisation des flux de trafic liés au travail et aux loisirs afin de parvenir à une utilisation équilibrée de la capacité des véhicules
- Identification d'infrastructures de mobilité durable et de modèles commerciaux, pour le travail et les loisirs (par exemple, les téléconférences) ainsi que leur réalisation courante et conviviale. Mise à jour des fondements pour des conditions-cadres idoines de la politique énergétique
- Projets pilotes d'envergure menés aux quatre coins du pays et portant sur de nouvelles conceptions et de nouvelles formes de mobilité, pour encourager la mise en œuvre de nouvelles technologies et de nouveaux modèles commerciaux, pour contribuer à leur acceptation par la population et pour poser les fondements sur lesquels prendre de futures décisions en matière de politique énergétique
- Réduction des incertitudes liées aux écobilans et aux analyses de cycles de vie par l'amélioration des bases de données et des méthodologies afin d'encourager une appréhension globale de la mobilité. Préparation des outils disponibles et prise en compte de l'état actuel des connaissances en vue de leur large utilisation et de mesures de communication à grande échelle

# Systemes énergétiques de demain

Des réseaux « intelligents » de systèmes d'énergie permettent un approvisionnement énergétique sûr et durable : à l'avenir, la fourniture d'énergie (électricité, chaleur, froid, combustibles et carburants) destinée à la consommation devra être à la fois acceptée socialement, très performante et exempte d'émissions de gaz à effet de serre, La sécurité d'approvisionnement du pays sera assurée. Pour y parvenir, il faut assurer durablement la couverture des besoins énergétiques du pays pour les prochaines décennies, par des solutions innovantes de la recherche & développement, selon la « nouvelle politique énergétique » qui vise l'abandon de l'énergie nucléaire.

De nouvelles technologies et l'exploitation habile de solutions au niveau de systèmes doivent réduire la dépendance de la Suisse vis-à-vis des combustibles fossiles. L'épuisement des agents énergétiques fossiles augmentera la demande en électricité (électromobilité, pompes à chaleur). Selon la stratégie énergétique de l'EPFZ, l'électricité pourra couvrir la moitié de la consommation d'énergie finale, doublant ainsi sa pondération. Cette évolution, sorte de **seconde électrification**, jouera un rôle crucial dans l'amélioration de l'efficacité du système énergétique pris dans son ensemble.

Dans une première phase, la réponse aux besoins supplémentaires sera fournie par l'amélioration de l'efficacité de la transformation de l'énergie provenant des agents énergétiques primaires fossiles, avec captage obligatoire du CO<sub>2</sub>. Il faut également exploiter davantage les sources d'énergie renouvelable, comme la biomasse, la géothermie, le soleil, l'eau et le vent.

Le Trialogue Énergie Suisse (ETS) évalue le potentiel des énergies renouvelables (sans l'hydraulique) jusqu'en 2050 à ~20 TWh d'électricité (1,3 TWh aujourd'hui) et à ~36 TWh de chaleur (12 TWh aujourd'hui); ainsi les ressources renouvelables pourraient couvrir 55 % des besoins.

Ce changement fondamental concerne tous les domaines de la transformation de l'énergie primaire en électricité, en chaleur ou en froid, mais il va aussi du transfert à la consommation, en passant par le stockage, l'intégration de systèmes partiels, ou encore

les questions de sécurité. Les thèmes essentiels comprennent : les cycles de vie optimaux des installations existantes et technologies qui concernent l'électricité, les systèmes énergétiques biogènes et fossiles, les réseaux intelligents ainsi que certains domaines de la technique nucléaire. Toutes les réflexions englobent la totalité du cycle de vie des différentes composantes. Les progrès réalisés doivent présenter un avantage équilibré pour les trois dimensions que sont l'économie, l'écologie et la société.

Les **interactions entre économie et société**, la tolérance face aux technologies et l'acceptation de celles-ci revêtent une signification particulière pour les systèmes énergétiques, qui sont des infrastructures importantes. La recherche énergétique de la Confédération vise une forte orientation sur l'utilisation, impliquant une gestion active du transfert de savoir et de technologie.

On évalue les coûts, les risques, le consensus, la consommation de ressources, les retombées économiques et environnementales en s'appuyant sur des modèles vérifiables des systèmes énergétiques. Ces modèles comprennent tous les modes de production, le transport, le stockage, les importations et exportations ainsi que la consommation. Ils permettent d'analyser différents scénarios de développement pour la Suisse, également en rapport avec ce qui se passe à l'étranger.





Chaque année, le soleil rayonne en Suisse une énergie 220 fois supérieure à la consommation du pays durant la même période. Or, jusqu'à aujourd'hui, moins de 0,1% des besoins en électricité et 0,4% des besoins en chaleur sont couverts au moyen de l'énergie solaire, car les coûts sont trop élevés. Mais chaque année, grâce aux derniers développements, les prix des modules solaires diminuent. Le SUPSI mène, par exemple, au Tessin des essais mécaniques de résistance dans une perspective de commercialisation des modules solaires. De plus, des travaux sont menés pour utiliser des miroirs dans le cadre de l'énergie thermique solaire pour concentrer l'énergie solaire, pour échauffer de l'eau et pour générer de l'électricité avec des turbines conventionnelles. Illustration : Dans le parc solaire de Gams, diverses technologies photovoltaïques récentes – des cellules photovoltaïques en silicium monocristallin, en silicium multicristallin et en silicium amorphe – sont posées sur la toiture et sur les façades du nouveau bâtiment d'une entreprise. Au total, cette installation combinée affiche une puissance-crête de 60 kW et produit nettement plus d'électricité que le bâtiment n'en consomme. (Heizplan AG).

La participation de la Suisse **au marché européen de l'énergie**, au titre de partenaire commerciale égale, est une condition posée dans tous les scénarios pour assurer la sécurité de l'approvisionnement et pour améliorer l'accès à l'importation d'énergies renouvelables, comme l'éolien, la géothermie et le solaire. Les composantes des systèmes énergétiques doivent être évaluées dans leur contexte et comparées les unes aux autres, pour qu'il soit possible de fixer des priorités en fonction des besoins des personnes concernées. La libéralisation croissante des marchés de l'énergie insufflera une nouvelle dynamique dans les choix technologiques, les investissements et les modèles commerciaux. Il en résultera des défis à relever, dans le domaine des investissements et des systèmes incitatifs correspondants, d'une part, ainsi que dans le domaine des infrastructures durables et des systèmes incitatifs correspondants, d'autre part.

## Priorités à moyen et à long terme

### **Installations existantes et installations de demain**

Les capacités des centrales actuelles, des réseaux de chauffage ou encore des installations de refroidissement doivent être exploitées en préservant l'environnement. Basées sur des analyses du cycle de vie, ces utilisations doivent être conçues pour s'inscrire dans une optique de durabilité. L'efficacité de la transformation s'améliore si la transformation de l'énergie en électricité, en chaleur ou en froid est intégrée en un système. Produits et applications qui consomment de l'électricité doivent gagner en efficacité. Il s'agit d'optimiser les qualités écologiques et l'économie des ressources sur toute la durée de vie, allant de la construction à la démolition en passant par l'exploitation et la production.

### **Systèmes d'énergie utilisant les hydrocarbures**

La biomasse peut servir à la production de courant, de chaleur et de carburant, mais il faut améliorer globalement la compétitivité des processus impliqués, que ce soit dans des systèmes centralisés ou décentralisés.

Une importante **décarbonisation** est indispensable lorsque électricité et chaleur sont issues d'agents fossiles. Pour y parvenir, l'efficacité des centrales doit fortement s'améliorer et le captage du CO<sub>2</sub>, émis dans les rejets gazeux, doit être développé et démontré.

Le rendement des **centrales combinées à turbine à gaz et à vapeur (TAG et TAV)** doit atteindre 62 à 63 %, tandis que leurs émissions doivent diminuer.

La recherche qui porte sur le **captage et stockage du CO<sub>2</sub> (CCS)** doit être interdisciplinaire et consister, d'un côté, dans la recherche sur les composantes des centrales à cycle combiné, et, de l'autre, dans la recherche énergétique axée sur les processus (fabrication de matériaux de construction, traitement du pétrole et du gaz naturel et industrie chimique et métallurgique). En complément, la recherche menée dans le domaine des sciences de la terre cherche des lieux souterrains dans lesquels envisager le stockage du CO<sub>2</sub>, pour permettre l'utilisation future du potentiel théorique de stockage du CO<sub>2</sub> en Suisse, qui est de 2700 millions de tonnes. Le caractère durable des technologies CCS doit être démontré par des projets P&D en matière de captage et d'utilisation du CO<sub>2</sub> ainsi que par des tests d'injection de CO<sub>2</sub> servant à préciser le comportement du CO<sub>2</sub> dans des lieux où l'on peut envisager de l'entreposer.

### **Énergies renouvelables**

La croissance à long terme des besoins énergétiques doit être absorbée par l'utilisation durable d'énergies renouvelables, rendues plus concurrentielles par des avancées technologiques.

Le développement de la **force hydraulique** au cours des prochaines décennies est susceptible d'apporter un supplément de production électrique allant de 5 à 10 TWh. Il faut apporter des solutions pour le faire dans le respect de la protection de la nature, du paysage et des eaux. De nouvelles technologies sont par ailleurs néces-

saires pour assurer la sécurité et la rénovation des barrages actuels.

Le **photovoltaïque** est une source énergétique indigène et une technologie au fort potentiel d'exportation. Pour améliorer son efficacité et pour diminuer les coûts qui lui sont liés, la recherche doit porter aussi bien sur la technique des cellules et des systèmes que sur les modules à intégrer aux bâtiments.

En Suisse, les **centrales éoliennes** sont souvent situées dans des endroits aux conditions particulières: le froid et la neige ainsi que des vitesses de vent soit basses, soit turbulentes demandent des mesures spéciales, à même d'augmenter la disponibilité et le rendement énergétique. Il faut donc développer de nouvelles composantes pour les installations. Enfin, il est également important que les durées de réalisation des projets se raccourcissent. Pour y parvenir, il faut augmenter l'acceptation de ces projets, du point de vue tant social qu'écologique.

Le plus fort potentiel indigène de fourniture d'énergie de ruban (chaleur et électricité) est offert par la **géothermie**. Dans ce domaine, il faut prévoir des efforts concertés, plusieurs années durant, pour améliorer les prévisions et la fiabilité en ce qui concerne la recherche et la détermination précise des réservoirs souterrains de chaleur et d'eau chaude; pour mettre en valeur ces réservoirs de manière sûre et avantageuse; pour les exploiter, et enfin pour les démanteler.

### **Des réseaux intelligents et performants**

Les énergies renouvelables sont souvent décentralisées et parfois très variables. La prise en compte du système énergétique dans son ensemble, comportant des centrales de grande ou de petite taille, centralisées ou décentralisées, permettra leur intégration, en tenant compte des productions de courants variables dans le temps et avec l'appoint de centrales assurant la charge de base (énergie de réglage). Il faut aussi, étroitement couplées aux centrales, des réseaux intelligents, à même de transporter les agents énergétiques et l'électricité, de piloter fourniture et consommation et de coordonner l'offre et la demande d'énergie. Dans le domaine des réseaux électriques, le principe de **réseau intelligent («Smart Grid»)** s'est imposé pour à la fois gérer et piloter les flux d'énergie.

Si l'approvisionnement en électricité de demain repose sur des volumes importants d'énergies renouvelables, il n'est pas possible de faire l'impasse sur des **réservoirs d'énergie** dans le réseau. La recherche est nécessaire à cet égard et doit porter sur les grandes centrales à accumulation d'eau et sur l'efficacité des technologies locales : batteries et supercondensateurs, accumulateurs de chaleur, accumulateurs d'eau, d'air comprimé ou de gaz, accumulateurs thermiques ou thermochimiques d'énergie solaire.

### Technologies nucléaires

La recherche réglementaire indépendante sur la sécurité doit se poursuivre, pour acquérir toutes les connaissances du grave accident de Fukushima et pour en tirer les enseignements.

Les efforts déployés par la recherche dans le domaine de la gestion et de la diminution des **déchets nucléaires** (la transmutation, par exemple) doivent se poursuivre.

Il faut que les sciences sociales et les sciences humaines fournissent les bases permettant que les trois étapes de la procédure de sélection des sites pour les dépôts en couches géologiques profondes de **déchets radioactifs** puissent être menées à bien.

La participation mesurée de la Suisse au développement de technologies permettant de disposer de réacteurs plus sûrs et plus efficaces, allant jusqu'à la fusion nucléaire, doit permettre à notre pays de garder sa capacité de jugement.

Les **nouvelles technologies appliquées aux réacteurs** de quatrième génération doivent faire l'objet d'une évaluation continue concernant la sécurité ainsi que la gestion et le stockage des déchets.

Quant à la recherche sur la fusion, il faut la poursuivre dans la mesure où elle peut être financée dans le cadre d'une collaboration multilatérale, sans réduire les moyens libérés pour d'autres technologies énergétiques.



*Les chercheurs de l'Institut Paul Scherrer PSI utilisent cette installation de laboratoire pour extraire d'une matière première naturelle, le bois, du gaz riche en énergie : le processus transforme le bois en un gaz synthétique qu'il est possible d'injecter dans les conduites publiques. L'énergie fournie par le bois est ainsi utilisable pour produire de l'électricité dans des centrales à gaz ou pour la propulsion de véhicules. L'énergie qui est exploitée est très respectueuse de l'environnement, car la gazéification du bois est neutre du point de vue du CO<sub>2</sub>. (Scanderbeg Sauer Photography)*

## Sujets de recherche 2013–2016

La liste ci-dessous présente une sélection de thèmes de recherche qui doivent être abordés durant la période 2013–2016 si l'on veut réaliser les priorités fixées pour le long terme. Des objectifs chiffrés et concrets sont indiqués dans la mesure et là où cela s'avère pertinent et possible. Les projets pilotes et de démonstration correspondants doivent être encouragés.

### **Installations existantes**

#### *Utilisation optimale des ressources, qui préserve l'environnement*

- Optimisation du système pour augmenter l'efficacité de la transformation de l'énergie
- Analyses du cycle de vie en tant qu'outil de gestion durable
- Technologies électriques pour améliorer l'efficacité de produits (générateurs thermoélectriques) et d'applications (câbles supraconducteurs, générateurs et transformateurs des réseaux de transport)

### **Systèmes d'énergie utilisant les hydrocarbures**

#### *Turbines à gaz et à vapeur*

- Augmentation du rendement électrique, qui passe de 60 % à plus de 62 %
- Augmentation du rendement des composantes
- Diminution des besoins en air froid, augmentation des paramètres du procédé
- Augmentation du rendement global et optimisation du découplage thermique en différents niveaux de chaleur
- Utilisation de combustibles dégageant peu de CO<sub>2</sub> (biomasse, hydrogène de production renouvelable)
- Technologies de captage du CO<sub>2</sub> accompagné d'un accroissement minimisé des besoins énergétiques
- Enclenchement par stabilisation rapide du réseau (montée en puissance de plus de 3 % par seconde)

#### *Stockage du CO<sub>2</sub>*

- Identification des ressources effectivement disponibles dans le sous-sol suisse pour le stockage du CO<sub>2</sub>
- Technologies de captage du CO<sub>2</sub>, avec accroissement réduit des besoins énergétiques
- Risques du stockage de CO<sub>2</sub>, comportement et surveillance du stock à long terme

#### *Utilisation de la biomasse*

- Amélioration de la purification des gaz
- Meilleure désintégration du substrat pour améliorer les rendements gazeux de la fermentation
- Prise en compte des aspects liés à la sécurité
- Optimisation et intégration du système pour en améliorer le rendement, évaluation de la totalité de la chaîne de création de valeur
- Standardisations et fondements permettant d'assurer la qualité, sensibilisation du public par une bonne communication

## **Énergies renouvelables**

### *Force hydraulique*

- Apaisement des conflits opposant la force hydraulique, d'une part, à l'écologie des eaux et à la protection du paysage, d'autre part, en lien avec la recherche environnementale, par des solutions apportées à la problématique des ondes positives et négatives et à la migration des poissons
- Effets du changement climatique (recul des glaciers, apports sédimentaires, modifications hydrologiques)
- Adaptation des centrales à accumulation d'eau à l'évolution des demandes faites à l'exploitation dans le réseau européen d'interconnexion
- Potentiels exploitables et solutions standard pour les petites centrales hydrauliques et les installations à faible pression
- Augmentation de la sécurité des barrages par la recherche menée dans le domaine du vieillissement du béton des murs de retenue (réaction entre alcali et agrégat)
- Évaluation d'inondations extrêmes; surveillance du terrain dans de vastes zones
- Mesure des tremblements de terre en passant par des réseaux modernes de mesure des activités sismiques; mesures à long terme visant à permettre de prévoir l'évolution de la tenue des barrages

### *Énergie éolienne*

- Développement et optimisation de composantes d'installations, d'appareils de mesure et de concepts d'utilisation adaptés aux conditions suisses
- Augmentation de l'acceptation de l'énergie éolienne et raccourcissement des durées de planification et d'octroi d'autorisations

### *Géothermie et exploitation énergétique des profondeurs du sol*

- Description géologique tridimensionnelle du sous-sol profond
- Méthodes d'exploration et captage de nappes de chaleur au moyen de techniques de forage révolutionnaires
- Stimulation du champ de forage et du sous-sol en vue d'en accroître la perméabilité
- Gestion durable du réservoir
- Conversion efficace de l'énergie
- Diminution des coûts par une recherche systémique intégrale; processus et méthodes qui concernent la sécurité

### *Photovoltaïque*

- Nouveaux matériaux pour des cellules photovoltaïques en couches minces
- Amélioration des cellules photovoltaïques et de l'infrastructure destinée aux processus de grande envergure ainsi qu'aux lignes de production pilotes
- Technologies de production de cellules photovoltaïques en couches minces et en silicium cristallin
- Intégration d'électricité d'origine solaire dans les réseaux et pilotage intelligent des réseaux
- Assurance qualité des modules solaires et de la partie électrique des systèmes techniques (onduleurs)

### *Centrales solaires thermiques*

- Technologie des réacteurs en vue d'obtenir des gaz de synthèse comme préalable aux carburants liquides
- Augmentation des rendements de conversion de l'énergie solaire en énergie chimique

### *Centrales solaires thermiques à concentration (CSP)*

- Augmentation du rendement et diminution des coûts des centrales et de leurs composantes (réflecteurs, absorbeurs, pilotage)

### **« Des réseaux intelligents et performants »**

#### *Réglage entre énergie fournie et énergie nécessaire*

- Couplages de réseaux et réseaux à plusieurs agents (électricité, chaleur, gaz)
- Infrastructures de recharge pour véhicules électriques, qui stabilisent les réseaux
- Architecture du réseau de transport : outils de planification et éléments sur la question de l'opposition entre câblage et ligne aérienne
- Exploitation du réseau de transport : surveillance et coordination par-delà les frontières, critères de sécurité et services du système
- Intégration d'énergies renouvelables dans les réseaux de basse et de moyenne tensions
- Intégration et gestion d'accumulateurs, intégration de l'électromobilité
- Monitoring et pilotage des réseaux basse tension, saisie, transfert et traitement d'informations concernant le niveau de moyenne tension
- Protection de l'infrastructure sensible
- Participation du secteur de la demande (« Demand Side Participation ») en tenant compte des besoins des utilisateurs

#### *Réservoirs d'énergie*

- Technologies de réservoirs locaux et efficaces, comme les batteries et les supercondensateurs, les accumulateurs de chaleur, les accumulateurs à air comprimé ou à gaz, les accumulateurs thermiques ou thermochimiques d'énergie solaire

### **Sécurité et utilisation des technologies nucléaires**

#### *Recherche réglementaire sur la sécurité*

- Recherche qui porte sur les combustibles et les matériaux, sur les événements extérieurs, les facteurs humains, le comportement systémique, les procédures prévues en cas d'accident et la protection contre les radiations. Participation dans des banques de données internationales qui concernent les dégâts et les événements internes

#### *Déchets radioactifs*

- Analyse des roches argileuses, conception et inventaire d'un dépôt en couches géologiques profondes y compris dépôt pilote (évolution et comportement des gaz dans les champs proches et lointains d'un dépôt en couches géologiques profondes)

- Principes fournis par les sciences sociales et les sciences humaines, permettant de mener à bien la procédure de sélection des sites pour les dépôts en couches géologiques profondes
- Valorisation des déchets nucléaires par transmutation

#### *Technologies applicables aux réacteurs*

- Évaluation de nouvelles technologies de réacteurs et de filières de combustibles (thorium), de leur sécurité, de la gestion des déchets nucléaires et de leur stockage

#### *Fusion*

- Fondements scientifiques avec accent sur la physique des plasmas et sur les matériaux

#### **Analyses systémiques globales (integrated Assessments)**

##### **Système énergétique**

- Modélisation de tout le système énergétique y compris les ressources assurées, le stockage, la consommation et les retombées pour la société (coûts, ressources, charge de l'environnement, potentiels et résiliences, risques et vulnérabilités)

##### **Société**

- Scénarios d'utilisation de l'espace vital qui soient compatibles avec la progression visée quant à la consommation de courant et au rejet de CO<sub>2</sub>
- Scénarios de modification des conditions institutionnelles, structurelles et dans l'économie d'entreprise en vue d'accélérer la progression ou de moins l'entraver
- Scénarios d'actions propres à renforcer la position économique de la Suisse
- Modèles d'affectation optimale des ressources dans toute la chaîne de création de valeur, de l'innovation à la consommation en passant par les équipements pilotes et la mise en œuvre ; observation des effets dans des projets pilotes
- Scénarios des comportements d'utilisateurs en fonction de différents mécanismes d'orientation

##### **Régions test**

- Etude du comportement réel (individus et groupes) dans des régions test réalisant un scénario donné

# Processus de demain

L'objectif consiste dans la diminution de moitié de la consommation des ressources et des atteintes à l'environnement dues aux produits : en Suisse, l'industrie, les services et l'agriculture réunis consomment près de 36 % de l'énergie et 61 % de l'électricité, l'énergie consommée pour les déplacements des collaborateurs et pour le transport de marchandises n'étant pas incluse. La contribution que l'économie doit fournir est donc essentielle si l'on veut atteindre les objectifs climatiques et diminuer les besoins en électricité.

Les processus de demain permettront de fabriquer des produits **en consommant aussi peu d'énergie et de matériaux que possible**, avec des effets sur l'environnement réduits au maximum. Le bilan est établi compte tenu de la totalité de la chaîne de création de valeur : il intègre tous les procédés techniques ainsi que les flux de matières et de matériaux utilisés pour extraire ou obtenir les matières premières, pour produire les matériaux, pour fabriquer les produits semi-finis et finis, et enfin pour distribuer, pour utiliser et pour gérer l'élimination du produit considéré.

Les ressources renouvelables et le **recyclage** en fin de vie d'un produit contribuent de manière notable à l'amélioration des bilans d'énergie et de matières. Par ailleurs, le choix des **sites de production** et leur répartition peuvent diminuer la consommation énergétique. Une telle démarche peut de plus améliorer l'utilisation des agents énergétiques renouvelables ou l'exploitation des surplus d'énergie.

Si elles sont nombreuses et désormais connues, les mesures à prendre dans l'industrie pour diminuer la consommation ne sont que partiellement mises en œuvre. La conjoncture constitue souvent un obstacle majeur. La recherche doit donc également apporter des mesures d'amélioration peu coûteuses. De plus, des **systèmes incitatifs** permettant de faciliter la mise en œuvre jouent un rôle important.

## Contexte

Les processus industriels sont composés d'une myriade de technologies différentes. Il s'y ajoute les processus utilisés dans les services et dans l'agriculture. Malgré la part importante qu'ils représentent dans la consommation totale, il n'existe donc pas, pour les processus, de seuils de consommation prescrits par les stratégies énergétiques, comme c'est le cas pour les bâtiments ou les véhicules. L'expérience accumulée par l'Agence de l'énergie pour l'économie (AEnEC), qui accompagne de nombreuses entreprises, dans le cadre de la législation sur le CO<sub>2</sub>, pour les appuyer dans leur démarche de mise en œuvre de mesures d'économies d'énergie, montre qu'il existe des **potentiels d'économies allant jusqu'à 30 %** ; pour certains processus, l'optimisation des procédés peut apporter des économies allant jusqu'à 80 %.

La réduction de la consommation énergétique doit prendre en compte la **valeur de l'énergie**. La réduction de la consommation d'électricité ainsi que l'abaissement des températures des processus, souvent comprises entre 180 °C et 400 °C, sont prioritaires. Il faut donc d'abord diminuer les besoins en énergie. Des températures de processus plus basses sont également mieux adaptées à l'exploitation du **solaire thermique**.

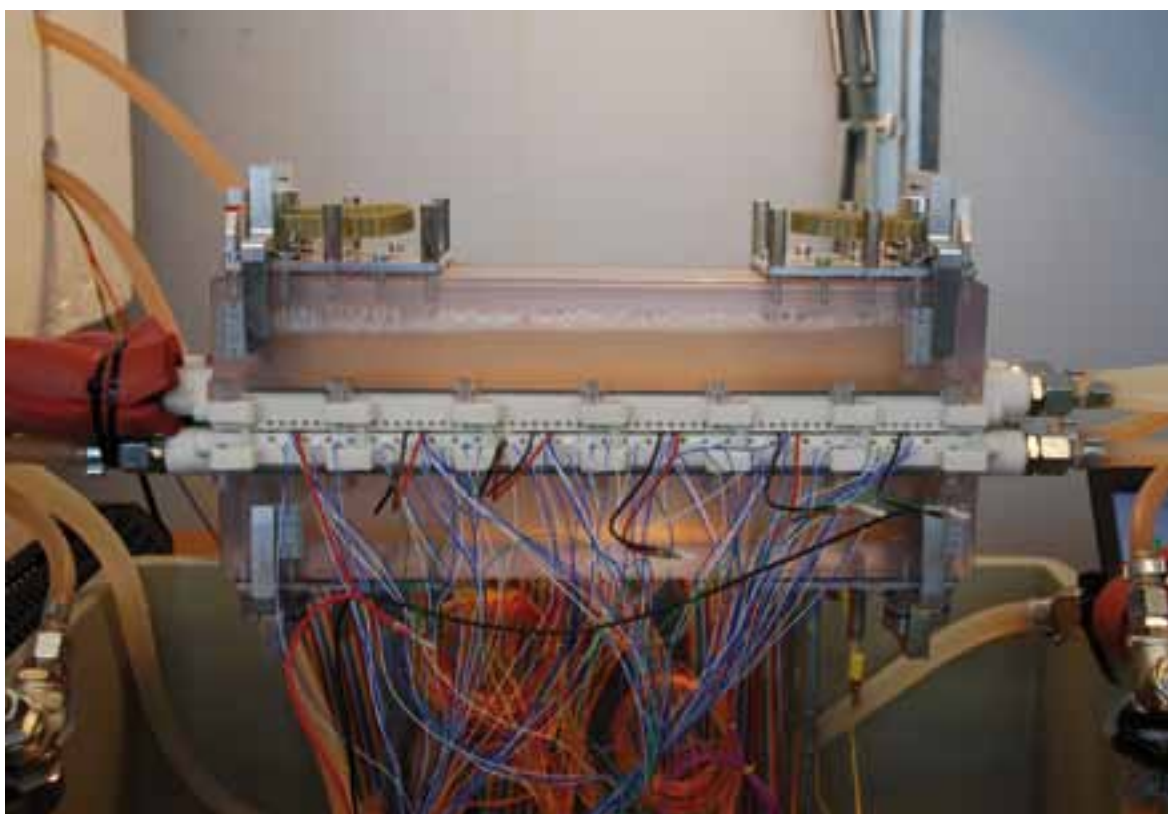
En plus d'améliorer les différentes composantes, une adaptation des procédés est nécessaire si l'on veut réaliser d'importantes économies. La raréfaction des matières premières demande une optimisation entre les bilans d'énergie et de matières. Pour ce qui est de l'élimination, la **récupération des matériaux** est en général préférable à leur utilisation énergétique.



Il ne suffit pas non plus de concentrer les efforts sur l'amélioration des processus et des produits des **branches particulièrement énergivores**: la panoplie des mesures doit s'étendre au nombre important des petits et moyens consommateurs d'énergie des secteurs de l'industrie, des services et de l'agriculture.

Les évaluations que l'on peut lire dans les publications spécialisées font état d'un fort potentiel d'amélioration des processus et des produits: il est possible de diminuer de 20 % d'ici à 2020 et **de 50 % d'ici à 2050** l'utilisation de l'énergie, la consommation de l'exergie et les dégagements de gaz à effet de serre pour

chaque unité de valeur créée. Un potentiel de même ordre est reconnu en ce qui concerne les besoins en matériaux. Le soutien donné à la recherche par les pouvoirs publics doit donc accorder la priorité aux projets qui présentent un fort potentiel d'économies.



*Les rejets thermiques des eaux usées peuvent être transformés en électricité par des générateurs thermoélectriques. De nombreux processus économiques, industriels ou liés à la transformation de l'énergie dégagent des rejets thermiques. Un appareil de démonstration de 1 kW est utilisé à l'EPFZ pour démontrer la faisabilité de principe et pour évaluer l'efficacité. Il est prévu de montrer, dans des cas d'utilisation concrète, qu'il est possible d'utiliser les rejets thermiques des centres informatiques ainsi que la chaleur d'origine géothermique.*

## Priorités à moyen et à long terme

### Développement de produits

Le développement de produits doit intégrer la consommation des ressources et l'influence sur l'environnement tout au long du cycle de vie de ceux-ci, pour qu'ils soient conçus, compte tenu de leur cycle de vie, avec un emploi optimal des ressources nécessaires. Un produit est ainsi envisagé dans ses fonctions et dans sa matérialisation, mais aussi compte tenu des procédés de fabrication appropriés, de l'énergie que ceux-ci et lui-même consomment et de son impact sur l'environnement pendant sa phase d'utilisation et, enfin, en englobant les procédés utilisés pour son élimination avec un taux de récupération élevé.

La quantité de matériaux requis doit être minimale afin de satisfaire aux seules propriétés fonctionnelles des produits. La disponibilité des matières premières et la possibilité de leur récupération doivent être prises en compte.

### Fabrication des produits

Des **procédés de fabrication** plus efficaces ou novateurs permettront de diminuer les besoins énergétiques et la consommation de matériaux. Il s'agira, par exemple, de remplacer des procédés de séparation thermiques par des technologies utilisant une membrane; de remplacer des installations de séchage thermiques par des installations de séchage mécaniques; de remplacer la transformation à chaud par celle à froid; ou encore de remplacer des processus interrompus par des processus continus. S'y ajoute le développement de matériaux d'un genre nouveau, comme les bioplastiques, par exemple, qui consomment moins de ressources pour leur fabrication, leur utilisation et leur élimination. Le défi consiste, en l'occurrence, à conserver toutes les propriétés fonctionnelles des matériaux ainsi fabriqués.

L'intensité en matières peut être diminuée par l'utilisation de procédés différents ou nouveaux, comme lorsque les procédés de transformation remplacent ceux par étirement. Ou encore, le développement de nouveaux matériaux permet de diminuer la consommation liée à leur fabrication et à leur utilisation.

Les énergies renouvelables peuvent être employées directement dans les procédés chimico-solaires ou ther-

mosolaires. Le CO<sub>2</sub> dégagé par les processus utilisant des combustibles carbonés peut être capturé. Il est possible d'améliorer l'efficacité d'une **installation de fabrication** par l'augmentation du rendement des éléments qui la composent, comme les moteurs ou les systèmes de refroidissement ou de déplacement, ou par l'utilisation de systèmes de propulsion hybrides. Les engins de chantier dotés de moteurs électriques et à combustion en sont un exemple.

Les systèmes complets doivent être harmonisés plus fortement dans les réseaux de production; il convient d'éviter la coupure des flux de matériaux, les pertes à l'arrêt ainsi que les produits de rebut.

Il faut aussi des projets de mise à niveau de grandes installations, impliquant des composantes et des systèmes de contrôle énergétiquement optimisés. Dans toute la mesure du possible, il convient de limiter l'utilisation de l'énergie aux besoins physiques des procédés et de restreindre l'emploi des composantes périphériques.

L'énergie doit être employée dans la production en fonction de sa valeur. Les **flux d'énergie** doivent être optimisés du point de vue de leur exergie. L'énergie non utilisée sera récupérée. Cela consiste notamment à abaisser les températures des processus et à récupérer l'exergie qui provient des flux thermiques rejetés (cycle organique de Rankine, thermoélectricité).

Le stockage d'énergie revêt une importance particulière, puisqu'il est à même de répondre au décalage temporel entre l'offre et la demande dans les processus discontinus. Des réservoirs d'énergie innovants sont développés et intégrés pour l'énergie cinétique, l'énergie thermique et l'énergie électrique.

Les **technologies de l'information et de la communication (TIC)** consomment toujours plus d'énergie. L'utilisation de l'énergie propre aux systèmes informatiques (kWh/byte) doit être réduite. Voici quelques exemples: processeurs peu gourmands en électricité, systèmes de refroidissement améliorés par l'ajout de récupération de chaleur, ou encore emploi des TIC mieux adaptés à la fonction prévue.

### **Utilisation des produits**

La consommation d'énergie et les effets sur l'environnement d'un produit durant son utilisation sont déterminés dès la phase de développement. Pour les nouveaux produits, la relation entre l'énergie grise et la durée d'utilisation est optimisée. Ensuite, le rééquipement en cours d'utilisation permet de réduire la consommation d'énergie et d'allonger la durée de vie technique. De plus, l'énergie consommée doit être minimisée en fonction de l'utilisation prévue du produit.

### **Gestion de l'élimination des produits**

Dans toute la mesure du possible, les ressources utilisées pour un produit doivent être récupérées au moment de son élimination. Il faut viser l'utilisation d'un minimum d'énergie et la récupération d'un maximum de matériaux. La récupération doit être organisée dès la phase de développement du produit.

### **Comportement**

Le comportement des fabricants et celui des clients déterminent le genre de produits proposés ainsi que la demande. Des recherches doivent être menées concernant les obstacles ainsi que les systèmes incitatifs qu'il est possible d'instaurer pour augmenter les parts de marché des produits pour lesquels l'utilisation des ressources est optimisée. Ces recherches consisteront notamment dans des analyses socio-économiques destinées à éviter des effets de rebond. Les attentes vis-à-vis des processus de demain et les méthodes nécessaires pour leur développement doivent également être intégrées dans les cursus de formation suffisamment tôt.

## Sujets de recherche 2013–2016

Étant donné la part importante occupée par l'industrie et les services dans la consommation suisse d'électricité, la recherche et la mise en œuvre de mesures d'économies durables sont confrontées à d'importants défis. En plus de l'amélioration incrémentale des différentes composantes des processus de fabrication, la recherche énergétique de la Confédération doit présenter de nouveaux procédés ou des solutions alternatives ayant pour effet de réduire substantiellement la consommation d'énergie et de matériaux. Des projets phares devront démontrer, durant la période 2013–2016, les possibilités et les potentiels offerts par divers procédés dans des secteurs variés. Alors que souvent, les processus de fabrication sont mis au point pour une entreprise donnée, la recherche publique vise à améliorer des procédés fondamentaux ou des éléments d'installation particulièrement polyvalents. Cette démarche implique aussi d'agrandir et d'affiner les banques de données et les outils de simulation. Pour réduire les besoins en exergie, des projets devront viser la diminution des températures des processus, allant dans l'idéal jusqu'à permettre d'exploiter la chaleur solaire. Il est tout aussi important de montrer la voie permettant de mettre en œuvre les résultats des recherches (en utilisant des étiquettes, des taxes incitatives, des quotas ou encore des normes), en tenant compte des conditions socio-économiques dans lesquelles l'industrie et les services évoluent. Là encore, les attentes vis-à-vis des processus de demain doivent être prises en compte dans les cursus de formation.

La liste ci-dessous présente, à titre d'exemple, une sélection de sujets de recherche qui doivent être abordés durant la période 2013–2016 si l'on veut réaliser les priorités fixées pour le long terme. Des objectifs chiffrés et concrets sont indiqués dans la mesure et là où cela s'avère pertinent et possible.

### **Développement de produits**

- Définition des besoins en exergie cumulés des produits, allant de l'extraction des matières premières jusqu'à l'élimination privilégiant le recyclage, en passant par la fabrication et l'utilisation, en fonction des composantes choisies
- Démonstration de produits exigeant un minimum d'énergie et de matières, et surtout de matériaux toxiques et polluants, compte tenu de leur durée de vie et leur recyclage
- Bases de données et modèles de simulation qui permettent de choisir des chaînes technologiques performantes dans l'industrie de la fabrication, en vue de diminuer la consommation d'énergie et de matières
- Amélioration des banques de données relatives à l'énergie grise contenue dans les matériaux, les produits semi-finis et les produits eux-mêmes et prise en compte de leur durée d'utilisation
- Banques de données sur les matériaux à privilégier (énergie, flux de matières) pour servir au développement de produits

### **Fabrication des produits: procédés**

- Démonstration de procédés de fabrication thermiques à température réduite
- Développement de matériaux, comme les bioplastiques, en tenant compte de la fabrication des matières premières biogènes
- Développement de procédés biochimiques pour remplacer les processus thermiques conventionnels
- Analyse des phénomènes de transport dans les milieux polyphasés pour optimiser les flux de matières
- Évaluation de processus chimico-solaires en vue de produire directement des substances chimiques
- Démonstration de la conception de produits avec les matériaux à privilégier en termes de flux de matières et avec récupération maximale de matières, compte tenu de la dépense d'énergie, des coûts ainsi que de la qualité des matériaux après récupération

### **Fabrication des produits: installations**

- Élaboration de solides bases de données et développement de modèles de simulation numériques permettant de représenter la consommation d'énergie en cours de fabrication
- Développement des instruments permettant une adéquation optimale des flux d'énergie dans les processus en chaîne, en tenant compte de composantes novatrices destinées au stockage d'énergie
- Amélioration de la production/utilisation combinées de chaleur et de froid dans des équipements industriels
- Augmentation, jusqu'à un niveau supérieur à 60 %, du rendement des processus solaires thermiques à haute température (jusqu'à 250 °C) destinés aux applications industrielles, par l'amélioration des matériaux et du design du système (déperditions optiques, degrés de réflexion, déperditions thermiques); réduction des coûts
- Développement d'une installation de démonstration pour la production de chaleur solaire allant jusqu'à 400 °C et son intégration dans la technologie des procédés
- Modèles et outils de surveillance permettant de gérer avec une meilleure performance énergétique les processus chimiques en chaîne continus et discontinus

- Réduction de 20 % de la consommation d'électricité des appareils électrolytiques par la récupération et la transformation en électricité de l'hydrogène (installation de démonstration)
- Développement de revêtements de surface fondés sur les nanotechnologies en vue de diminuer les dépôts lors des séparations de matière et des transferts thermiques
- Démonstration de la réduction de 25 % de la consommation d'énergie des machines-outils par amélioration et par intégration systématiques de composantes périphériques
- Développement de moteurs pas-à-pas novateurs, qui améliorent de 10 % la performance énergétique des systèmes de propulsion par rapport à l'état actuel de la technique
- Démonstration de générateurs thermoélectriques permettant la production d'exergie à partir de flux thermiques à basse température, dans les centres informatiques par exemple

#### **Utilisation des produits**

- Démonstration d'outils de surveillance en ligne des paramètres de fonctionnement de produits à haute consommation d'énergie

#### **Gestion de l'élimination des produits**

- Bilan matériaux et énergie des chaînes d'évacuation pour alimenter les modèles de simulation
- Amélioration de la valorisation énergétique par exemple des déchets de l'industrie du ciment et démonstration du captage du CO<sub>2</sub>

# Recommandations pour la politique de recherche

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

## Principes d'encouragement

Il convient en premier lieu d'encourager la **recherche énergétique appliquée**. Le transfert technologique est soutenu par des centres de compétences où la recherche appliquée est effectuée en contact permanent avec l'industrie. La priorité sera accordée aux domaines de recherche sur lesquels travaillent des groupes de chercheurs chevronnés qui créent une importante valeur pour la Suisse et contribuent de manière significative au développement durable, au plan national et sur la scène internationale. Pour garantir la continuité dans des domaines de recherche prioritaires, il faut assurer la création puis le maintien de groupes de recherche bien dotés aux points de vue personnel et matériel. La CORE envisage un engagement plus marqué des pouvoirs publics dans la **mise en réseau** d'établissements de recherche et de formation qui soient **reconnus internationalement pour leurs compétences** ainsi que dans des sujets porteurs dont l'économie privée ne s'est pas encore saisie. Dans ce cadre, il faut assurer une utilisation compatible avec l'économie des éléments de propriété intellectuelle mis au point avec des fonds publics de promotion (brevets, licences, etc.).

## Recherche dans le domaine des EPF, dans les HES et les Universités

La nouvelle politique énergétique du Conseil fédéral propose quatre axes d'encouragement de la recherche dans le domaine de l'énergie, à savoir :

- Développer les capacités et l'infrastructure de recherche dans le domaine des EPF, dans les HES et dans les Universités
- Mettre en place des centres de compétences
- Renforcer les aides compétitives à des projets de recherche
- Tirer parti des activités d'encouragement du FNS (PNR, NFS, chaires de soutien).

La CORE soutient ces options. Afin que les enseignements de la recherche passent le plus rapidement possible sur le marché, il faut que surtout les Hautes écoles spécialisées aient également accès aux fonds d'encouragement.

## Recherche publique relevant de la Confédération

Constituant un élément important dans l'orientation de la recherche énergétique suisse, la recherche publique relevant de la Confédération est soutenue essentiellement par l'OFEN. Tout en disposant de moyens financiers relativement limités, elle remplit une fonction capitale de pilotage et a d'importants effets sur l'orientation de la recherche énergétique, que celle-ci soit menée dans le domaine des EPF, dans les HES ou dans les universités, voire dans des institutions privées. De plus, elle contribue de manière fondamentale à la participation des chercheurs suisses à des programmes internationaux de l'AIE et de l'UE. La CORE recommande donc que la recherche publique relevant de la Confédération soit développée dans le domaine de l'énergie, notamment par une augmentation des moyens financiers alloués à des installations pilotes et de démonstration. Une bonne adéquation mutuelle de la recherche relevant de la Confédération est recommandée en l'occurrence.

## FNS et CTI

Des stratégies d'encouragement adaptées doivent permettre que les activités de l'Agence pour la promotion de l'innovation (CTI) soient plus axées sur la recherche énergétique. De même, il convient que le Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS) encourage des projets de recherche liés à l'énergie dans ses choix de programmes nationaux de recherche (PNR) et de pôles de recherche nationaux (PRN).

## Transfert technologique et scientifique

La Suisse dispose encore d'un potentiel de transfert technologique, notamment par le biais de la collaboration des PME avec les institutions de recherche. Aujourd'hui, ces rapports sont principalement tributaires de l'offre. De nouvelles voies doivent être trouvées afin d'identifier les besoins et d'accélérer le rythme des transferts. Celui-ci devrait bénéficier en particulier de la création de centres de compétences.

## Promotion de la relève

Pour prévenir un aggravement de la pénurie de spécialistes dans les métiers techniques, la Confédération est priée de prendre des mesures d'encouragement de la formation (niveaux secondaire et tertiaire).



