

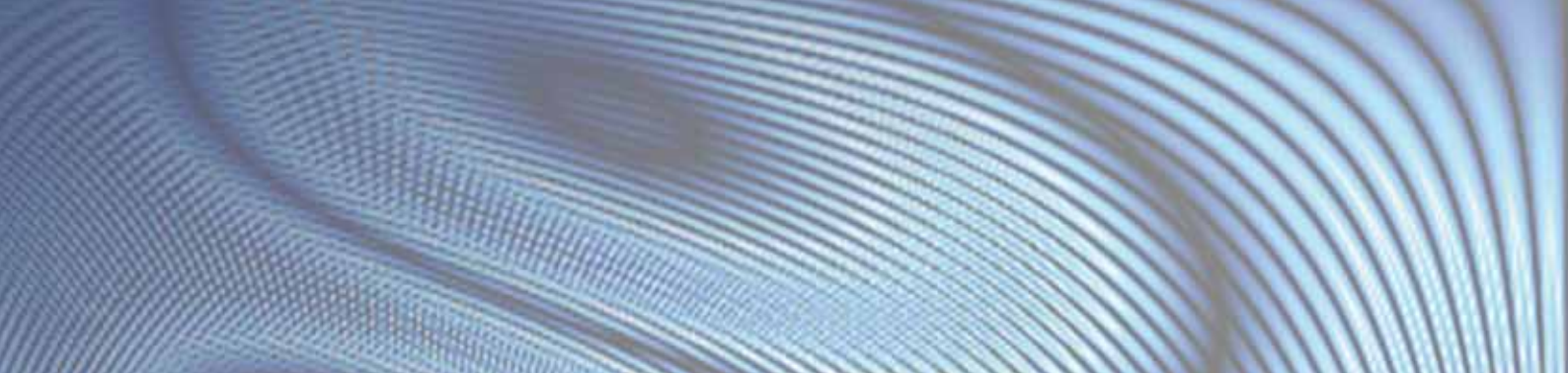


Energies renouvelables

Les défis jalonnant le chemin vers un plein approvisionnement

SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences



L'Académie suisse des sciences techniques SATW

La SATW réunit des personnes, institutions et sociétés techniques suisses non commerciales, politiquement indépendantes de sociétés faitières et actives dans les sciences techniques ainsi que dans leur application et leur promotion. Elle regroupe environ 240 membres individuels et 60 sociétés membres. Les membres individuels sont des personnalités éminentes du monde de l'enseignement, de la recherche, de l'économie et de la politique. Les sociétés professionnelles suisses au service des sciences techniques peuvent présenter leur candidature pour devenir membres de la SATW. Les membres des organes de la SATW travaillent bénévolement.

La SATW a obtenu un mandat de la Confédération d'identifier de manière précoce les défis et les chances des nouvelles technologies et d'en informer le public. Une mission importante consiste également à accroître l'intérêt et la compréhension de la technique au sein de la population.



Table des matières

4	Résumé
6	Avant-propos
7	Un changement nécessaire
10	Un long chemin
12	Promouvoir les énergies renouvelables
16	Créer les conditions cadres adaptées
20	Coûts supplémentaires supportables
22	Intégration complexe
25	L'économie énergétique
27	Effets sur l'environnement et le climat
29	Aspects sociaux
31	Importations peu réalistes à court terme
33	S'engager sur le long chemin
35	A lire
36	Impressum

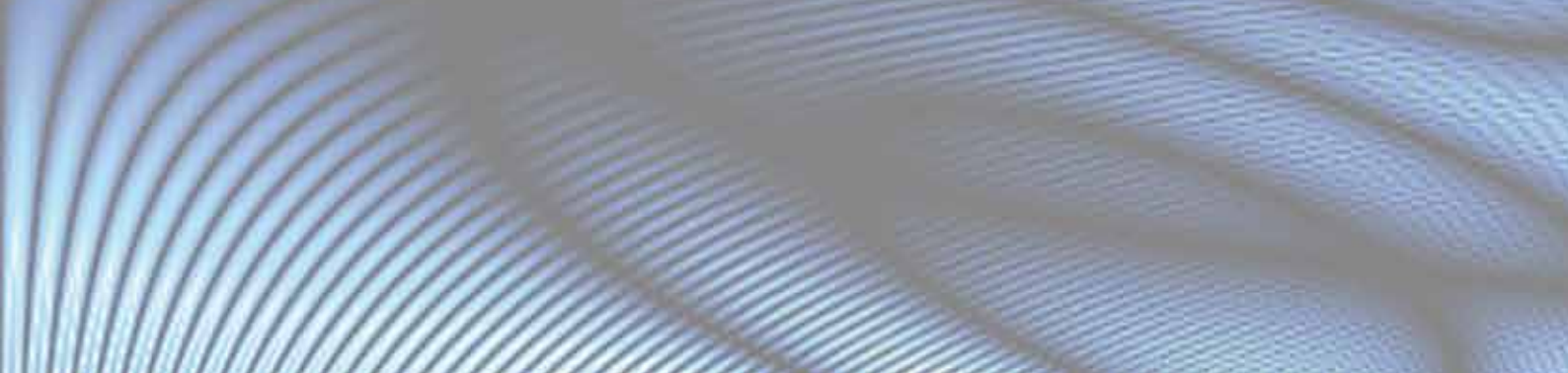


Résumé

A long terme, il est inéluctable que l’approvisionnement mondial en énergie sera assuré dans une large mesure ou même intégralement par des sources d’énergie renouvelables. Les énergies fossiles sont limitées et il nous faut en assurer la relève afin de protéger le climat. Le développement des énergies renouvelables doit donc être mené sans perte de temps. En l’état actuel des connaissances, le remaniement de l’approvisionnement énergétique qui nous attend peut être mené à bien au plus tôt vers la fin du siècle en cours. Ce remaniement est d’autant plus difficile que la consommation d’énergie est élevée. L’augmentation de l’efficacité énergétique et matérielle et le développement des énergies renouvelables forment dans ce contexte des axes d’action complémentaires, auxquels il s’agit d’accorder une importance équivalente.

Pour l’économie et la société, il est décisif que l’énergie soit disponible en quantité suffisante à tout moment. En principe, en Suisse aussi le potentiel des énergies renouvelables est assez important pour couvrir les besoins. Cependant, la densité d’énergie de ces sources d’énergie est le plus souvent faible; par ailleurs, les énergies solaire et éolienne en particulier sont de production irrégulière. Les potentiels des différentes sources d’énergie laissent présager qu’une part prédominante de l’offre énergétique future prendra la forme d’électricité (fluctuante) solaire et éolienne. Ceci nécessite des ajustements ambitieux de la mise à disposition d’énergie. Cependant, les améliorations techniques ne sont qu’une condition nécessaire mais non suffisante pour que les nouvelles énergies renouvelables s’imposent sur le marché avec succès. Il faut donc renforcer le financement de projets de recherche, jusqu’à des installations de démonstration.

On ne peut pas s’en remettre uniquement au marché pour le développement des énergies renouvelables; celui-ci requiert aussi un soutien public. En raison des importants investissements à consentir, la mise en place de systèmes énergétiques nécessite beaucoup de temps et suppose un processus d’adaptation qui ne serait pas enclenché à temps par les seules forces du marché. Dans ce contexte, les investisseurs (secteur de l’énergie, propriétaires immobiliers et industrie) et l’Etat doivent mettre à disposition des moyens considérables. Afin d’éviter des erreurs de développement coûteuses, il nous faut une stratégie d’encouragement optimale tant au niveau économique qu’écologique. A cet effet, les instruments d’encouragement (subventions, rétributions de l’injection, quotas, prescriptions d’utilisation etc.) doivent périodiquement être contrôlés quant à leur efficacité.



A l'exception de parcs éoliens et de centrales hydroélectriques d'envergure, l'énergie renouvelable est aujourd'hui essentiellement produite de manière décentralisée et assure principalement un approvisionnement local et régional. Il n'existe pas encore de marché important à l'échelle continentale ou globale. Au mieux, ce n'est que dans quelques décennies qu'on peut s'attendre à des importations notables d'électricité issue d'énergies renouvelables ainsi que de biocarburants.

Le développement des énergies renouvelables est une tâche non seulement technique et économique, mais aussi sociale. En l'absence d'une participation active de la population, le chemin vers un plein approvisionnement en provenance d'énergies renouvelables n'est pas praticable. Les citoyens décident de l'avenir énergétique en tant que votants, consommateurs et investisseurs. Il est nécessaire de fournir des informations crédibles et compréhensibles, qui indiquent les possibilités, mais aussi les problèmes.



Avant-propos

A l'instar des habitants de la plupart des pays industrialisés, nous nous sommes habitués à pouvoir disposer de la puissance de moteurs en tous genres quand nous le désirons et, en outre, à des prix avantageux. Il en résulte une corrélation à l'échelle mondiale: en effet, une augmentation du produit intérieur brut semble toujours s'accompagner d'une hausse de la consommation d'énergie. Cette croissance débridée n'est pas sans conséquence.

Trois thèmes majeurs touchent également la Suisse, à savoir l'exigence relative à la consommation d'énergie en constante augmentation, la protection du climat avec la nécessité de remplacer les carburants fossiles et la sécurité de l'approvisionnement avec l'énergie utilisable. Il s'agit apparemment d'exigences contradictoires relatives à notre système énergétique. Cependant, elles sont toutes importantes et doivent être prises en considération. C'est pourquoi le système doit impérativement être remanié et ce, dans l'urgence. Il est nécessaire de travailler sur le plein approvisionnement à partir de sources d'énergies renouvelables.

Néanmoins, même en fournissant les plus grands efforts possibles, le passage à un approvisionnement suffisant basé sur l'énergie renouvelable prendra encore de nombreuses décennies. En l'occurrence, il faut fournir d'énormes prestations techniques et financières. Il s'agit donc de décrire des scénarios énergétiques qui deviendront d'actualité à plus long terme. Ce passage est un immense défi et équivaut à une nouvelle révolution industrielle.

Ce rapport est une contribution à l'identification précoce du défi technique et économique que représente le développement des énergies renouvelables. De cette manière, il concrétise certains points importants du «Plan de route Energies renouvelables Suisse» que la SATW a publié en 2007. Les Académies suisses des sciences étudient des questions supplémentaires dans le projet «Approvisionnement en électricité en Suisse» de même que la Commission Energie de la SATW dans plusieurs projets.

Ulrich W. Suter
Président de la SATW



Un changement nécessaire

Les énergies renouvelables jouent encore un rôle secondaire aujourd'hui. Cette situation doit changer radicalement dans les décennies à venir. En effet, l'utilisation intensive des énergies fossiles ne pourra pas être maintenue à long terme.

L'approvisionnement en énergie, tel que nous le connaissons aujourd'hui, subira un changement profond dans les prochaines décennies. Les besoins en énergie en augmentation au niveau mondial, le recul prévisible de la production de pétrole et de gaz naturel ainsi que les changements climatiques croissants exigent de nouvelles approches pour notre approvisionnement en énergie. L'objectif étant d'utiliser autant que possible les énergies renouvelables afin d'établir un système énergétique de base compatible avec le long terme.

Le présent cahier de la SATW va montrer s'il est possible, et dans l'affirmative comment mettre en œuvre un approvisionnement en énergie en s'appuyant presque entièrement sur des sources renouvelables. Il mentionnera aussi quels sont les défis à relever et le temps que cela prendra. Pour ce faire, les potentiels des sources d'énergies renouvelables doivent être pris en considération de la même manière que les questions relatives à l'impact sur le climat et l'environnement, la disponibilité des matières premières, la rentabilité, l'intégration dans le système énergétique existant et l'acceptation par la société. L'objectif est d'aborder les aspects essentiels dont il faut tenir compte lors de la mise en place d'un tel approvisionnement en énergie sans pour autant chercher à en expliquer toutes les options envisageables. Actuellement les énergies renouvelables sont considérées comme un élément central de l'approvisionnement futur en énergie, mais elles ne représentent pas les seules ressources possibles à long terme.

Les personnes désirant à l'avenir renoncer totalement aux énergies fossile et nucléaire doivent cependant reconnaître que notre société restera dépendante des énergies conventionnelles, du moins pendant une période de transition. En même temps, il est incontestable que le pétrole et le gaz naturel ne seront encore disponibles que pour une période relativement courte d'environ quelques décennies (voir à ce propos le cahier de la SATW «Pénurie de pétrole et mobilité en Suisse»). Les divergences de vue consistent seulement à savoir quand le maxima des demandes sera atteint et ensuite à quelle vitesse la production diminuera.

Contrairement au pétrole et au gaz naturel, le charbon est encore disponible en grandes quantités. Cependant, sa combustion n'est tolérable du point de vue de la protection du climat que si le CO₂ émis peut être isolé et stocké de manière durable. Si ce qu'on appelle la séquestration du CO₂ peut s'effectuer de manière suffisamment sûre, le charbon est une source d'énergie valable jusqu'à ce que les énergies renouvelables puissent garantir largement l'approvisionnement en énergie et ce, en étant soutenues par l'énergie nucléaire dans les pays où celle-ci est acceptée.

Les énergies renouvelables seront de plus en plus importantes pour l'approvisionnement en énergie. A long terme, elles doivent constituer une part prépondérante de l'offre en énergie, voire couvrir complètement les besoins selon les préférences politiques. On ne peut imaginer un système énergétique durable sans énergies renouvelables. La vitesse à laquelle l'approvisionnement en énergie passe aux énergies renouvelables dépend, en fin de compte, de l'évolution des besoins en énergie et de la disponibilité des énergies conventionnelles ainsi que de la politique énergétique et climatique choisie.

Toutefois, les énergies renouvelables ne contribuent aujourd'hui que modestement à l'approvisionnement global en énergie. En effet, elles ont contribué en 2008 à hauteur de 12,9% à la couverture des besoins mondiaux en énergie primaire (Key World Energy Statistics 2010 de l'Agence internationale de l'énergie). Par rapport à l'ensemble des besoins en énergie, sa part était de 19% en 2008, dont 13% revenaient à l'utilisation de la biomasse traditionnelle, 3,9% à la production d'électricité (dont 3,2% à l'énergie hydraulique), 1,4% à la production d'eau chaude et au chauffage ainsi que 0,6% aux biocarburants (REN21 Renewables 2010 Global Status Report).

Dans les 27 pays de l'UE, la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie primaire était de 7% en 2006. En 2008, elle a augmenté pour atteindre 8,2% (EurObserv'ER 2008). L'objectif fixé pour 2010, à savoir que les énergies renouvelables devaient contribuer à hauteur de 12% à la consommation totale, n'est pas atteint selon un communiqué de la Commission eu-

ropéenne. Il en va de même pour la part attendue de 21% des ressources renouvelables dans la production d'électricité. En effet, celle-ci se montait à 16,4% en 2008 (EurObserv'ER 2009). En 2007, l'UE s'est fixé comme objectif contraignant d'élever à 20% la part des énergies renouvelables dans l'ensemble de la consommation énergétique pour l'année 2020. Malgré le boom des énergies éolienne et solaire enregistré dans de nombreux pays, il sera difficile de répondre de cette manière aux besoins en énergie.

En Suisse, la part des énergies renouvelables dans l'ensemble de la consommation énergétique était de 18,9% en 2009 (v. Fig. 1). L'énergie hydraulique en représentait la part principale avec 53,3% de la production d'électricité. La production d'électricité supplémentaire à partir des énergies renouvelables exigée dans la loi fédérale sur l'approvisionnement en électricité de 5 400 GWh d'ici à 2030 correspond à 8,7% de la consommation de la Suisse en 2009. La contribution du photovoltaïque

Total 877 560 TJ

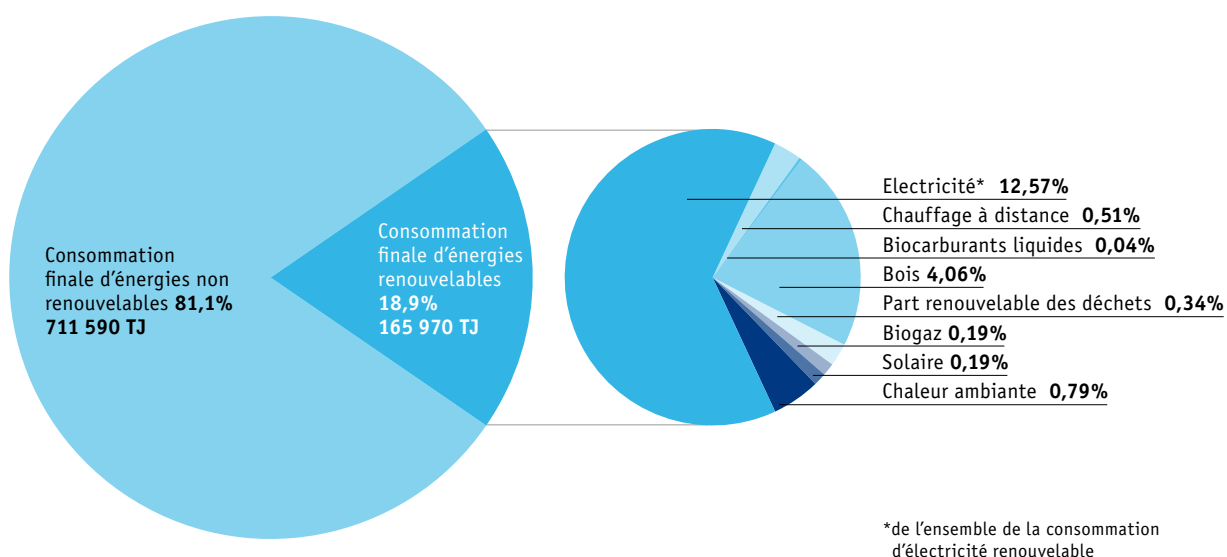


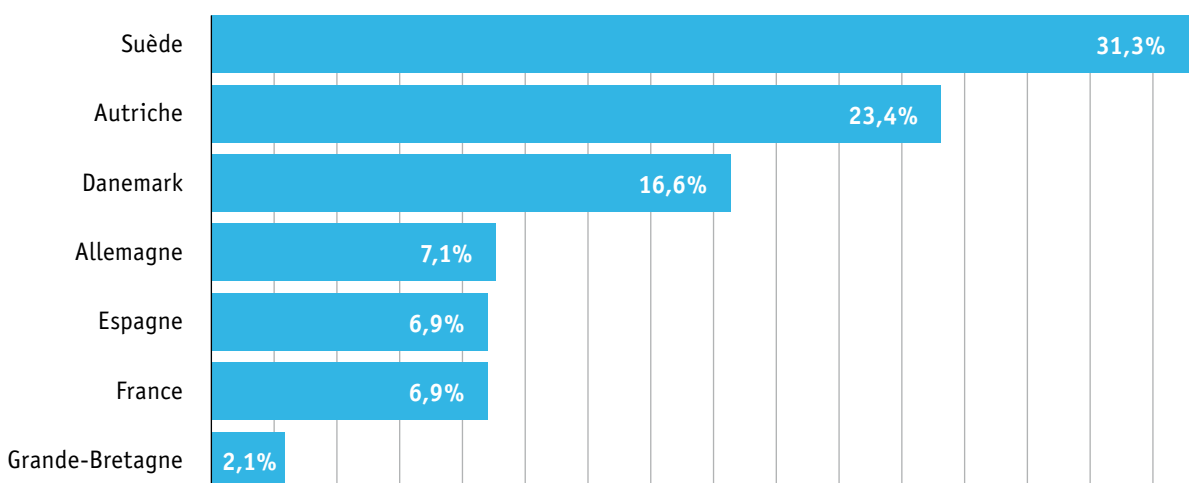
Fig. 1: Consommation finale des énergies renouvelables en Suisse pour 2009 (OFEN: Statistiques suisses des énergies renouvelables, édition 2009)



et du vent, qui à plus long terme seront les principaux piliers de l'offre énergétique, n'était que de 1,17 ‰ de la consommation du pays en 2008.

Depuis quelques années, les énergies renouvelables connaissent un développement encourageant. Dans différents pays, leur contribution est déjà significative (v. Tab. 1). Les investissements augmentent de manière fulgurante. En outre, les mesures gouvernementales ainsi que les subventions et les rétributions de l'énergie injectée dans le réseau sont, en Europe, principalement à l'origine de marchés de l'énergie solaire et éolienne à forte croissance. Aux Etats-Unis, les biocarburants sont fortement subventionnés, malheureusement avec des conséquences douteuses sur l'environnement et la production alimentaire. L'utilisation des énergies renouvelables est même en hausse dans les pays en développement ou récemment industrialisés. La Chine est notamment de loin le plus grand utilisateur de chaleur solaire. Le Brésil augmente constamment sa production d'éthanol à partir de la canne à sucre.

La situation initiale pour les énergies renouvelables est naturellement très différente. Dans les pays disposant d'énergie hydraulique pouvant être utilisée de manière économique, telle que la Suisse, la production d'électricité hydraulique est la source d'énergie renouvelable la plus importante. Dans d'autres régions, ce sont l'énergie éolienne ou la biomasse qui l'emportent. Outre l'énergie hydraulique pouvant être développée dans différents pays, les nouvelles énergies renouvelables, dont le vent, l'énergie solaire, de nouvelles formes d'utilisation de la biomasse ainsi que la géothermie, jouent un rôle de plus en plus important. Puisque non seulement la production à partir des énergies renouvelables augmente sensiblement, mais que la consommation mondiale d'énergie s'accroît aussi, il faudra attendre au moins jusqu'à la moitié de ce siècle avant que les énergies renouvelables ne prennent la relève des énergies fossiles en tant que pilier dominant.



Tab. 1: Parts de toutes les sources d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie primaire dans des Etats choisis de l'UE en 2007 (EurObserver'ER2008)

Un long chemin

Les besoins en énergie de l'humanité peuvent, en principe, être couverts par les énergies renouvelables. Toutefois, le remaniement de l'approvisionnement actuel en énergie en faveur d'un système s'appuyant principalement sur des énergies renouvelables nécessitera quelques décennies.

La contribution croissante des énergies renouvelables dans l'approvisionnement en énergie et les objectifs ambitieux pour les prochaines décennies ne doivent pas dissimuler le fait que nous sommes seulement au début d'un long processus. En principe, nous savons parfaitement bien quelles technologies et quelles mesures gouvernementales peuvent jouer un rôle au cours des prochaines décennies. Sur cette base, il est possible d'évaluer l'aspect que le développement futur pourrait avoir. Le cahier de la SATW intitulé «Plan de route Energies renouvelables Suisse» en est un exemple. Il montre que, même en Suisse, la production d'électricité, de chaleur et de carburant peut être nettement augmentée à partir des énergies renouvelables.

La part des énergies renouvelables dans l'approvisionnement dépend de l'évolution de l'ensemble de la demande en énergie. Dans la plupart des pays, l'augmentation de la consommation était, jusqu'à présent, supérieure à l'accroissement de la production à partir de sources d'énergies renouvelables. Cette situation ne peut durer. Un plein approvisionnement basé sur les énergies renouvelables ne serait viable sur le plan économique que si l'énergie est utilisée de manière nettement plus efficace. La promotion des énergies renouvelables et l'utilisation rationnelle de l'énergie doivent, dès lors, aller de pair. En effet, ce ne sont pas des orientations concurrentes de la politique énergétique, mais complémentaires.

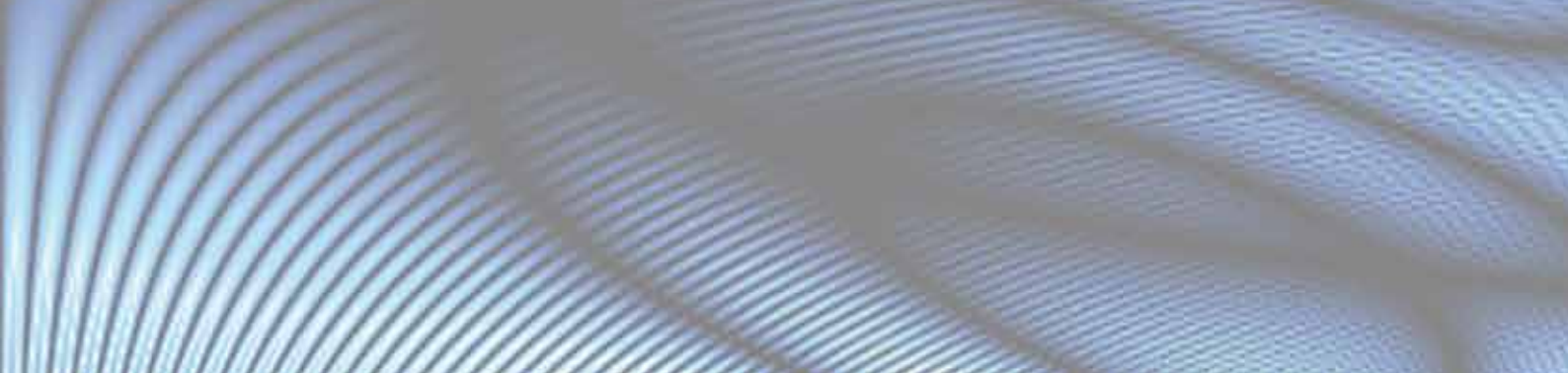
En l'occurrence, il s'agit de ne pas perdre de vue qu'il faut aborder le remaniement qui se prépare avec flexibilité. Ce qui aujourd'hui semble être une mesure correcte, peut ne plus l'être ultérieurement. Il existe en particu-

lier deux facteurs qui déterminent si les énergies renouvelables s'imposeront sur le marché. Il s'agit, d'une part, des baisses de coût rendues possibles grâce au progrès technologique ainsi que de l'évolution des coûts des matières premières nécessaires et des énergies concurrentes. D'autre part, cela dépend aussi du développement de l'infrastructure énergétique. Ces deux facteurs commencent d'apparaître actuellement.

Cependant, il existe des faits déjà établis: 1. La plupart des énergies renouvelables ont une faible densité énergétique, ce qui entraîne des frais élevés d'investissement. 2. Dans le cas des énergies éolienne et solaire, le rendement énergétique est produit de manière irrégulière. Ceci exige des énergies de réserve qu'il ne faut pas sous-estimer ainsi que des dépenses considérables pour le stockage et la régulation. 3. Les coûts d'exploitation relativement bas de la plupart des énergies renouvelables constituent un point positif. D'autres éléments essentiels changeront fortement au fil du temps, notamment grâce au développement technologique. Néanmoins, l'application de nouvelles technologies sur le marché demande du temps. En effet, les améliorations technologiques ne conduisent pas immédiatement à des augmentations au niveau de la production d'énergie.

Potentiels des énergies renouvelables

La constatation décisive à plus long terme est que le potentiel théorique (physique) des énergies renouvelables est pratiquement illimité. L'énergie solaire atteignant chaque année la surface du globe terrestre est environ 10 000 fois supérieure à la consommation d'énergie annuelle que nous connaissons aujourd'hui.



L'énergie éolienne et la géothermie présentent également des potentiels théoriques très élevés. En raison des ressources disponibles, il est donc en principe possible d'approvisionner complètement l'humanité en énergies renouvelables à long terme. Il en va de même pour la Suisse où le potentiel théorique des énergies renouvelables dépasse la consommation d'énergie actuelle d'un facteur supérieur à 100.

Pour l'approvisionnement en énergie d'un pays, ce n'est pas le potentiel théorique qui est déterminant, mais le potentiel technico-économique. Dans un premier temps, le potentiel technique indique dans quelle mesure une source d'énergie renouvelable peut être utilisée sur le plan technique et donc quelle quantité d'énergie pourrait être produite par le biais d'une technologie déterminée. Le potentiel technique est limité par les potentiels économique, écologique (pas d'atteinte permanente à l'espace vital) et social (acceptation par la population). Des aspects tels que les surfaces disponibles, les degrés d'efficacité et les rendements par mètre carré sont à un certain moment pertinents pour évaluer le potentiel technique. Dans le cas du photovoltaïque notamment, seules les surfaces des bâtiments convenant à leur utilisation sont généralement prises en compte. Si l'on intégrait également d'autres surfaces, le potentiel technique serait plus élevé. Dans le cas de l'énergie éolienne, les sites appropriés sont déterminés sur la base d'une série de critères tels que l'exclusion des réserves naturelles et de la forêt, des distances minimales par rapport aux lotissements et différents bâtiments ainsi que la vitesse annuelle moyenne du vent.

Le potentiel technico-économique d'une technologie décrit ensuite quelle quantité d'énergie peut être produite sur le plan économique à un niveau de prix donné des énergies concurrentes. L'économie réalisée sur la production d'énergie conventionnelle constitue une mesure. Pour l'électricité, la grandeur de référence se-

rait le prix d'achat du courant équivalent. Dans la situation actuelle des prix, les nouvelles énergies renouvelables ne sont, en général, pas rentables. Cependant, la limite de rentabilité peut être repoussée de manière décisive par des mesures d'encouragement gouvernementales, telles que des subventions et des rétributions de l'injection de courant dans le réseau. Dès lors, le potentiel technico-économique ne résulte pas uniquement des prix des énergies concurrentes et des coûts des énergies renouvelables prises en considération, mais, dans une même mesure, de l'importance des exigences de l'Etat en matière d'encouragement.

Les potentiels techniques de la production d'électricité par le biais d'une nouvelle énergie renouvelable ont été déterminés en détail par l'Institut Paul Scherrer (PSI) (Nouvelles énergies renouvelables et nouvelles installations nucléaires: potentiels et coûts, mai 2005). Les hypothèses relatives aux potentiels figurent aussi dans les perspectives énergétiques de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN 2007). La question est de savoir quelle peut être la taille de la part d'approvisionnement si ces potentiels sont également épuisés. Le «Plan de route Energies renouvelables Suisse» (SATW 2006) répond à cette question: elle montre que même si les potentiels considérables spécifiés sont complètement épuisés d'ici 2070, les énergies renouvelables pourront couvrir uniquement un tiers de la consommation d'énergie actuelle. Des parts plus élevées seraient imaginables si les politiques étaient orientées vers une efficacité énergétique renforcée et une promotion des énergies renouvelables. Si la consommation d'énergie continue néanmoins d'augmenter de manière aussi fulgurante qu'aujourd'hui, le développement des énergies renouvelables conformément au «plan de route» ne suffira pas à couvrir les besoins liés à la surconsommation. Dès lors, plus la consommation d'énergie totale diminuera, plus les énergies renouvelables deviendront le pilier majeur de l'approvisionnement en énergie.

Promouvoir les énergies renouvelables

Aujourd'hui, la plupart des nouvelles énergies renouvelables ne sont pas encore compétitives sur le plan économique. Grâce à un large éventail d'instruments d'encouragement, l'État tente d'aider ces énergies à percer.

Les diverses énergies renouvelables telles que l'énergie hydraulique, l'énergie solaire, l'énergie éolienne, la géothermie et la biomasse, se trouvent à des stades différents du point de vue technico-économique. En pratique, elles sont aujourd'hui toutes en mesure de fournir des services énergétiques, mais avec des rentabilités variables. Puisque toutes les sources d'énergie sont nécessaires pour l'approvisionnement futur, il faut d'une part maintenir et développer les sources d'énergies renouvelables utilisées aujourd'hui déjà, et d'autre part commercialiser de nouvelles technologies. En l'occurrence, les coûts de production d'énergie très variables doivent être harmonisés à plus long terme.

La rentabilité d'une énergie déterminée dépend d'une série de facteurs. Elle n'est pas une grandeur absolue, mais se calcule en fonction du niveau de prix des énergies conventionnelles. Elle varie selon la performance énergétique recherchée. Aujourd'hui, l'énergie solaire n'est en règle générale pas encore compétitive, mais elle l'est déjà dans certains cas pour produire de la chaleur et de l'électricité dans des zones isolées. La géothermie est rentable pour le chauffage et la préparation d'eau chaude, mais pas encore pour la production d'électricité.

La rentabilité et donc la compétitivité s'améliorent grâce au progrès technologique et à l'accroissement du volume des prestations («économie d'échelle»). En outre, les prix des énergies concurrentes conventionnelles auront tendance à augmenter. Les diminutions de prix provisoires liées à la conjoncture ne changent rien à ce développement fondamental; un retour au niveau

de prix des années 1990 est très improbable. C'est pourquoi l'écart de prix entre les énergies renouvelables et les énergies conventionnelles se resserre.

Toutefois, les nouvelles énergies renouvelables nécessitent davantage de matières premières que les énergies conventionnelles et sont donc nettement plus touchées par les prix plus élevés de ces matières premières. Aussi les coûts d'investissement, notamment pour les installations éoliennes, ont-ils augmenté au cours de ces dernières années. Pour des raisons de coût, il est donc important de chercher à atteindre une efficacité plus élevée. Les matières premières utilisées pour mettre en place un approvisionnement en énergie largement renouvelable sont en principe disponibles. Néanmoins, il ne faut pas exclure que des difficultés au niveau de l'approvisionnement en matières premières pourraient se présenter à plus long terme avec certaines technologies.

A l'instar des autres produits, les nouvelles énergies renouvelables sont soumises aux cycles du marché. La demande élevée d'installations photovoltaïques a entraîné une hausse des prix des panneaux au cours de ces dernières années. Récemment, une baisse des prix peut être observée en raison du développement économique et du progrès technologique. En effet, de nouvelles usines de panneaux solaires ainsi que de nouvelles technologies laissent présager des réductions de prix supplémentaires dans un futur proche. En ce moment, même les prix pour les installations de chauffage solaire ne diminuent guère et les prix du bois ont augmenté au cours de ces dernières années.

Les énergies renouvelables s'imposeront à un rythme différent dans les divers domaines d'application. Dans le secteur du bâtiment, on peut supposer que les besoins en chaleur pourront être largement couverts par les énergies renouvelables (soleil, bois, chaleur ambiante) après l'assainissement énergétique des bâtiments existants, ce qui demandera toutefois des décennies. La substitution est plus difficile au niveau de la mobilité où les carburants liquides ne peuvent guère être remplacés dans ce domaine. Certes, les voitures électriques devraient à l'avenir être davantage utilisées, mais pour qu'elles puissent réellement s'imposer, il faut encore faire des progrès importants, principalement au niveau des batteries. En fin de compte, l'industrie peut couvrir ses besoins en énergie de production dans le domaine de la chaleur à basse température par la chaleur solaire ou ambiante dans le cadre du plein approvisionnement basé sur les énergies renouvelables. Elle utilisera l'électricité ou le gaz synthétique pour les besoins en puissance et en température élevée.

L'évolution vers un approvisionnement complet basé sur les énergies renouvelables est complexe et nécessite des taux de croissance élevés. La recherche et le développement qui mènent à des innovations diminuant les coûts sont deux éléments nécessaires. Des mesures d'encouragement sont indispensables afin de s'imposer rapidement sur le marché. Le principe de l'«économie d'échelle» est également un levier majeur pour les énergies renouvelables. En effet, le volume du marché, la taille des installations et les dépenses en matières premières influencent fondamentalement les coûts de l'énergie produite.

Instruments d'encouragement adaptés

Afin de promouvoir les énergies renouvelables de manière ciblée, il faut utiliser des instruments adaptés en fonction du domaine d'application. Aujourd'hui, la promotion de ces énergies est déterminée par les circonstances politiques et ne s'aligne pas sur l'objectif d'un approvisionnement complètement basé sur les énergies renouvelables.

La situation pour les diverses énergies renouvelables se présente comme suit:

- L'énergie hydraulique est une technologie éprouvée, très rentable et fréquemment utilisée. En raison des innovations techniques, les degrés d'efficacité continuent d'augmenter, mais seulement à petits pas. Les conditions cadres définies par l'Etat, l'acceptation des installations existantes et, en particulier de celles prévues, sont déterminantes pour l'utilisation de l'énergie hydraulique. Bien que le monde politique et l'opinion publique semblent être d'accord sur le fait que l'énergie hydraulique doive continuer à être développée, ou au moins à être maintenue, les nouvelles constructions et les extensions rencontrent régulièrement des obstacles. Les petites centrales hydrauliques sont davantage concernées. La hausse imminente des quantités d'eau résiduelle aura un impact très négatif sur l'utilisation de l'énergie hydraulique. Il ne suffit pas de formuler des objectifs en matière de développement au niveau législatif, mais il faut également établir à cet effet les conditions cadres nécessaires.
- Le bois est toujours moins utilisé qu'il ne pourrait l'être, bien qu'il soit aujourd'hui compétitif face au mazout. Actuellement, il y a plus de bois qui repousse dans nos forêts que ce qui est nécessaire pour les différentes applications (construction, industrie, activité artisanale et énergie). Par conséquent, un potentiel supplémentaire est disponible pour l'utilisation énergétique. Pour ce faire, il faut toutefois



accélérer l'exploitation forestière. Des efforts sur le plan technologique sont également nécessaires pour optimiser le processus de combustion et permettre la transformation du bois en combustibles et carburants liquides et gazeux.

- L'utilisation énergétique de la biomasse restante requiert une recherche et un développement supplémentaires ainsi qu'un soutien financier par le biais de subventions (chaleur) ou des rétributions de l'injection dans le réseau électrique. L'encouragement doit s'effectuer sur la base de critères écologiques et sociaux (pas de concurrence par rapport à la production alimentaire).
- La chaleur solaire est aujourd'hui rentable dans divers secteurs. Si les prix du pétrole et du gaz naturel continuent d'augmenter, elle deviendra de plus en plus compétitive. Afin que la chaleur solaire puisse apporter une contribution de taille à la substitution des énergies de chauffage fossiles, elle doit être encouragée par des subventions de construction ainsi que des procédures d'autorisation simples et flexibles.
- Le photovoltaïque se situe de loin tout en bas de l'échelle de rentabilité. En effet, son niveau de coût doit encore être nettement diminué s'il doit contribuer dans une large mesure à l'approvisionnement en énergie. La recherche et le développement ainsi qu'une rétribution de l'injection dans le réseau électrique à prix coûtant permettant une industrialisation de la production d'électricité solaire sont des éléments nécessaires.
- Dans notre pays, les coûts de production de l'électricité éolienne devraient à l'avenir également dépasser ceux de la production d'électricité traditionnelle. La production d'électricité éolienne arrivée à maturité technologique est encouragée par la rétribution de l'injection dans le réseau électrique.
- L'utilisation de la géothermie ambiante et superficielle par le biais de pompes à chaleur est largement développée dans notre pays et ne doit plus être encouragée au niveau de l'Etat grâce à sa compétitivité.
- L'avenir de la production d'électricité à partir de la géothermie doit être clarifié. Avant d'aborder de nouveaux grands projets, il faut déterminer les risques par rapport à la rentabilité et aux séismes. La couverture des risques lors de forages profonds et les rétributions de l'injection dans le réseau électrique sont des instruments d'encouragement. Puisque le degré d'efficacité de la production d'électricité restera modeste en raison des températures relativement basses dans des profondeurs de forage réalistes, la question de l'exploitation de la chaleur reste problématique.

L'objectif des divers instruments d'encouragement est de compenser, ou du moins d'adapter, la différence de coût par rapport aux énergies traditionnelles. Outre les instruments mentionnés, des quotas prédéfinis, des prescriptions d'utilisation et des incitations en matière de droit de la construction pourraient apporter une contribution non négligeable. Le montant de la différence de coût est le mieux connu en ce qui concerne la production d'électricité et ce, par le biais des rétributions de l'injection dans le réseau électrique qui figurent dans l'ordonnance sur l'approvisionnement en électricité. Ces rétributions de l'injection dans le réseau électrique montrent quelles améliorations économiques doivent être encore atteintes, du point de vue actuel, pour les différentes énergies renouvelables dans les 20 prochaines années.

Les instruments d'encouragement utilisés aujourd'hui, surtout les rétributions de l'injection dans le réseau électrique, exercent un important effet de levier. De cette manière, les volumes de marché peuvent être augmentés de manière significative et les coûts, grâce à l'«économie d'échelle» et au progrès technologique peuvent être diminués. Toutefois, il faut veiller à ce que les différents propriétaires des installations ne réalisent pas des bénéfices disproportionnés, car les consommateurs d'électricité doivent payer les coûts supplémentaires de la recherche. Des mises aux enchères pourraient éventuellement faire baisser le risque de mauvaises allocations. En outre, la rétribution de l'injection dans le réseau électrique devrait tenir compte de la qualité de l'énergie produite (possibilité de produire selon les besoins) ainsi que des coûts de l'intégration au réseau.

Le remaniement nécessaire de l'approvisionnement en énergie est supportable au niveau économique lorsqu'il est entrepris à temps. Il serait approprié de calculer les coûts macroéconomiques et l'utilité de la promotion des énergies renouvelables et de les prendre en compte dans les considérations relatives aux coûts, en incluant les effets externes, les possibilités et les limites du progrès technologique ainsi que les pénuries de ressources.

Créer les conditions cadres adaptées

Afin que les énergies renouvelables puissent s'imposer sur le marché, il ne suffit pas de promouvoir le développement technologique. L'Etat doit également adapter les conditions cadres de manière à ce que les distorsions du marché puissent être corrigées.

La promotion des énergies renouvelables doit s'effectuer en deux étapes. Dans la première, il faut établir des conditions cadres adéquates. Pour ce faire, il faut éliminer les obstacles (par ex. dispositions dans les lois sur les constructions) et supprimer les subventions ainsi que les effets externes non pris en compte dans le cas des énergies conventionnelles. En l'occurrence, il s'agit d'un changement de tendance essentiel. Jusqu'à présent, la priorité était d'encourager le développement technologique. A présent, il faut garantir davantage la pénétration dans le marché. Toutes les énergies renouvelables doivent avoir la possibilité d'acquérir leur place dans le système énergétique conformément à leurs potentiels économique, technique et écologique.

Si cette étape ne suffit pas, il faut une promotion ciblée comme deuxième étape, qui vise à optimiser les instruments utilisés jusqu'à présent (recherche et développement, formation et information, subventions, rétributions de l'injection, etc.). Il est important d'être attentif non seulement à l'offre, mais aussi à la demande. Une pénétration du marché requiert des processus d'apprentissage et des innovations des deux côtés du marché et de la part de tous les acteurs. Elle ne peut pas s'effectuer uniquement avec des mesures d'encouragement direct, mais elle doit être soutenue par les forces du marché.

Une grande importance économique et réglementaire est attribuée aux mesures d'encouragement. Il faut empêcher que des mesures d'encouragement bien intentionnées, mais inappropriées, perturbent les innovations conformes aux conditions du marché et entraînent des erreurs de développement. De même, il faut éviter d'avoir une confiance naïve à l'égard du marché. En effet, une telle confiance ignore les imperfections du marché et a pour conséquence que l'on ne réfléchit pas aux conditions cadres.

On ne peut pas s'en remettre au seul marché

Si on laissait au marché le soin de développer les différentes technologies, à savoir si l'on se fiait au fait qu'elles s'imposent dès que leur rentabilité sera établie, cette attitude entraînerait des développements insuffisants sur le plan économique. La raison réside dans ce que l'on appelle le dysfonctionnement du marché. On entend par là des situations dans lesquelles les forces du marché seules ne sont pas en mesure de livrer une solution efficace sur le plan économique. Les ouvrages d'économie citent plusieurs raisons pour lesquelles le marché ne fonctionne plus lors de l'utilisation de nouvelles technologies de production d'énergie et pour lesquelles le secteur public doit donc intervenir en tant que régulateur (v. Tab. 2).



Dans la catégorie «dysfonctionnements du marché, imperfections du marché» pourraient notamment figurer les marchés de l'énergie, sur lesquels des dispositions légales compliquent l'accès au marché pour les nouvelles technologies, par ex. via des conditions restrictives pour la rétribution de l'injection dans le réseau électrique. Des investissements de départ élevés représentent également des entraves au marché. Ils altèrent la concurrence lorsque l'on renonce à la construction de grandes installations de production éventuellement efficaces en raison des coûts de financement élevés et des délais de remboursement courts exigés par les investisseurs. En outre, il existe une interaction entre les différentes entraves au marché. Par exemple, le manque d'acceptation entraîne une faible part de marché d'une technologie, les dégressivités des coûts ne pouvant être réalisées en raison des

économies d'échelle. Les entraves au marché peuvent ralentir sensiblement la diffusion des énergies renouvelables. Dans ce cas, il peut être utile sur le plan économique que le secteur public agisse avant que les prix accrus de l'énergie ne forcent la pénétration de nouvelles technologies sur le marché.

Les énergies renouvelables doivent se maintenir en place sur un marché qui se caractérise par de multiples entraves. Sans une intervention du secteur public, les nouvelles technologies ne s'imposeront que lentement. Dès lors, il est utile et efficace que l'Etat soutienne ces technologies par des instruments d'encouragement et des adaptations au niveau des conditions cadres.

Catégorie	Entraves au marché
Dysfonctionnements du marché, imperfections du marché	<ul style="list-style-type: none"> • Secteur énergétique hautement régulé • Lacunes en matière d'information; informations asymétriques • Accès compliqué ou limité à la technologie
Distorsions du marché	<ul style="list-style-type: none"> • Avantage (subventions) en faveur de technologies choisies • Coûts externes non internalisés
Entraves économiques et financières	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'accès au marché des capitaux • Investissements de départ élevés • Taux d'escompte élevés • Longs délais de remboursement • Petite part de marché, absence de rentabilité
Entraves institutionnelles	<ul style="list-style-type: none"> • Absence d'institutions pour communiquer les informations • Insuffisances au niveau des interventions de l'Etat

Tab. 2: Obstacles sur le marché et entraves au marché (en référence à Painuly, JP., (2001) Barriers to renewable energy penetration; a framework for analysis, Renewable Energy 24)



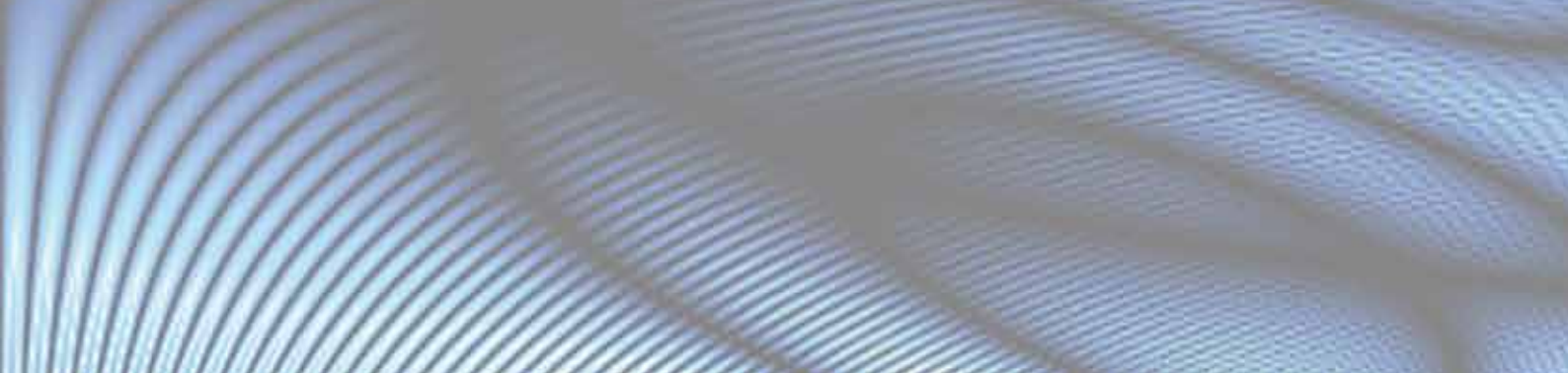
Eviter les erreurs de développement

Si l'Etat intervient sur le marché en tant que régulateur, il ne faut pas exclure des erreurs de développement ayant des coûts macroéconomiques élevés. Ce danger est particulièrement grand si une stratégie d'encouragement est poursuivie ou renforcée sans examen approfondi. Le soutien apporté aux nouvelles énergies renouvelables sera vraisemblablement encore nécessaire pendant une longue période. Dans la mesure du possible, il s'agit d'empêcher que trop ou trop peu de moyens d'encouragement ne soient utilisés trop tôt ou trop tard ou pour des mauvaises technologies. En l'occurrence, un encouragement accru et un développement rapide ne sont absolument pas utiles sur le plan économique. Il existe, en particulier, le risque que des technologies qui sont certes utilisables techniquement, mais encore loin d'être rentables, soient encouragées tandis que des procédures à des prix plus avantageux, des mesures visant l'augmentation de l'efficacité énergétique ou des produits innovants plus développés soient désavantagés.

La problématique d'optimisation peut s'expliquer en prenant l'exemple du photovoltaïque. Certes, ce dernier n'a pas encore complètement atteint sa maturité technologique, mais il est déjà utilisé dans une très large mesure. La demande croissante masque les réalités technologiques et économiques. Elle est la conséquence d'interventions sur le marché par le biais d'obligations d'achat (législation sur la rétribution de l'injection), de subventions et de mesures supplémentaires. Cette conséquence a été reconnue par le législateur suisse qui a limité les moyens d'encouragement pour le photovoltaïque dans la loi sur l'approvisionnement en électricité. Du point de vue économique, le photovoltaïque ne peut pas encore concurrencer les autres énergies renouvelables, en particulier l'énergie éolienne, et bien moins encore la production d'électricité conventionnelle. En même temps, il est évident que le photovoltaïque devra à l'avenir acquérir

une grande importance. Certes, les coûts de revient de l'électricité chutent depuis bien longtemps, mais ils doivent encore baisser. Le degré d'efficacité des cellules doit être augmenté et les coûts de production réduits. Pour ce faire, il faut, d'une part, de la recherche et du développement et, d'autre part, une utilisation accrue sur le marché, afin de stimuler le développement industriel. L'exemple montre l'antagonisme entre la nécessité de rendre commercialisable une technologie aujourd'hui encore coûteuse et l'exigence d'utiliser les moyens financiers limités de manière optimale sur le plan économique.

L'élaboration des bases d'une stratégie d'encouragement optimale pour les énergies renouvelables et, par analogie, également pour l'utilisation rationnelle de l'énergie est un travail de recherche très complexe pour lequel la recherche en matière d'innovation, l'économie et la recherche en matière de systèmes énergétiques doivent collaborer. La Commission Energie de la SATW élabore actuellement une stratégie d'encouragement pour la production d'électricité à partir de sources renouvelables. En général, il est inutile d'investir dans une seule technologie si l'évolution des coûts et des prix n'est pas connue de manière très précise, mais il faut être attentif à l'ensemble des technologies. Les instruments d'encouragement doivent, en l'occurrence, être utilisés de manière à ce que les nouvelles technologies soient disponibles au bon moment, à savoir lorsqu'elles sont commercialisables à l'échelle industrielle avec le minimum de dépenses possible. L'importance du point de vue économique d'optimiser cet encouragement est démontrée par une étude du Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (Institut de recherche économique de la Rhénanie-Westphalie) (Economic Impacts from the Promotion of Renewable Energy Technologies. The German Experience, RWI 2009) qui a remis en question le modèle allemand de la rétribution de l'injection dans le réseau électrique à prix coûtant utilisée en Suisse. L'institut allemand RWI a notamment



calculé que chaque poste de travail allemand dans le secteur du photovoltaïque serait subventionné en 2008 par un montant de 175 000 euros. Puisque les instruments d'encouragement exigent des ressources financières publiques, la question se pose, en outre, de savoir de quelle manière le processus de développement et de transformation doit être financé (par ex. par une augmentation générale des impôts, par des réallocations pour les dépenses du secteur public ou par des taxes sur les énergies non renouvelables) et de quelle manière il agira sur le plan économique.

L'encouragement direct est très important comme aide de départ. Il ne convient pas à une large pénétration du marché bien qu'il soit apprécié au niveau politique. Il ne favorise pas seulement des erreurs de développements coûteuses, mais il contribue également à ce qu'un régime avec des réglementations détaillées toujours plus incompréhensibles voie le jour. Les énergies renouvelables ont besoin de conditions cadres adéquates afin de pouvoir s'imposer. Si les coûts externes sont inclus dans les prix via des impôts, des taxes environnementales ou des certificats pour tous les vecteurs énergétiques, les seuils planchers nécessaires sont définis pour assurer la pénétration du marché.

Dans les débats politiques actuels, deux approches globales sont suivies simultanément. D'une part, la politique énergétique s'est fixé comme objectif que les nouvelles technologies énergétiques, parfois pas encore totalement mises au point, apportent une contribution la plus élevée possible à l'efficacité énergétique ou à l'approvisionnement en énergie. D'autre part, la politique industrielle cherche à atteindre une valeur ajoutée nationale la plus importante possible. L'argument présenté est qu'il est utile pour la Suisse de participer au développement de technologies tournées vers l'avenir. La valeur ajoutée devant déjà être atteinte dans un délai relativement court et la création de postes de tra-

vail ne sont pas les seuls éléments à jouer en faveur de cette position, il y a également le fait que la Suisse est une économie basée sur la connaissance. Il existe donc de bonnes raisons pour lesquelles le développement des énergies renouvelables doit être qualifié de secteur stratégique. En l'occurrence, une politique d'encouragement motivée au niveau de la politique énergétique et industrielle qui est tiraillée entre le souhait d'introduire le plus rapidement possible sur le marché des technologies partiellement encore non rentables et le fait que les moyens financiers sont limités.

Le développement d'un approvisionnement en énergie reposant largement sur des énergies renouvelables est une tâche de très longue haleine. Il requiert des investissements non négligeables devant être soutenus par des conditions cadres adéquates et des mesures d'encouragement optimisées. Afin d'éviter des erreurs de développement économiques, il faut mettre au point une stratégie d'encouragement solide sur le plan économique. Celle-ci garantit que les énergies renouvelables peuvent s'imposer conformément à leurs potentiels technique, économique et écologique. Dans ce cas, il faut privilégier les technologies peu coûteuses et efficaces sur le plan matériel.

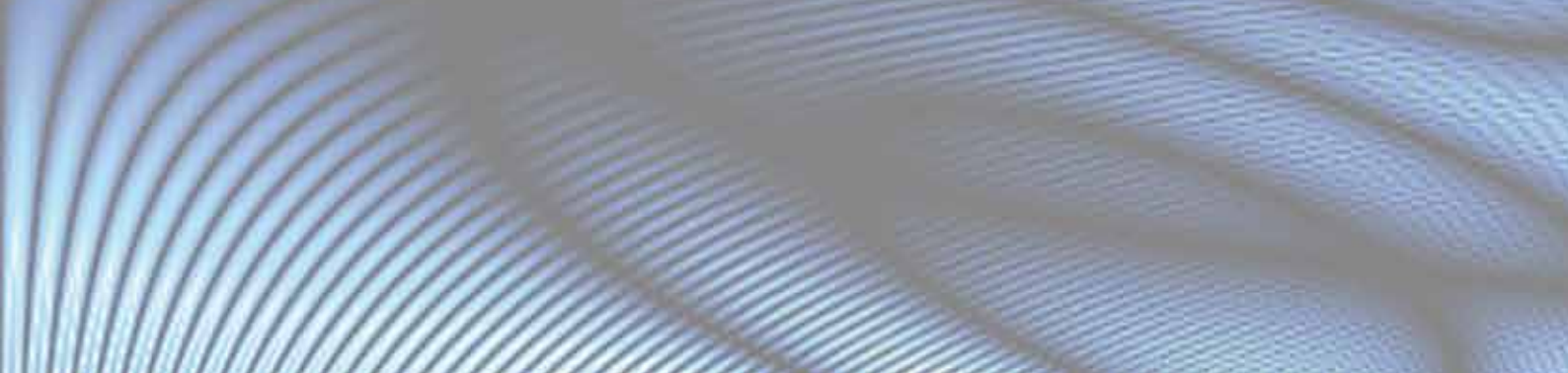


Coûts supplémentaires supportables

Les prix de l'énergie vont augmenter. Toutefois, les charges supplémentaires pour l'économie et la société sont supportables. L'élément décisif est la constatation selon laquelle l'énergie est un bien précieux qu'il importe de mettre à profit de manière efficace.

Aujourd'hui, la nouvelle énergie renouvelable est généralement encore plus chère que l'énergie conventionnelle. Dans le cas contraire, aucun encouragement ne serait nécessaire. Ce désavantage relatif se réduit lorsque, premièrement, les effets externes et les pénuries d'énergies conventionnelles sont pris en compte dans leur prix, et deuxièmement, lorsque les coûts de production des énergies renouvelables sont diminués. Même si les nouvelles énergies renouvelables perdent à la longue leurs désavantages en matière de coûts par rapport aux énergies traditionnelles, le remaniement de l'approvisionnement en énergie entraîne quand même une augmentation des prix de l'énergie. Cette affirmation générale s'applique du moins à une période restreinte de quelques décennies. Les progrès en matière d'utilisation de l'énergie, tels que les gains d'efficacité, les innovations orientées vers les services ou la conception d'un produit intégrant le confort, la santé, l'écologie et le maintien de la valeur marchande, relativisent déjà cette affirmation aujourd'hui comme le montre l'exemple de la maison passive.

La part des coûts de l'énergie dans le produit intérieur brut était encore de 8,4% en 1981. Jusqu'en 2002, il a chuté à 5,2%, est passé à 6,0% en 2008 et a diminué de nouveau en 2009 pour atteindre 5,1%. Ces fluctuations sont dues, en premier lieu, aux changements des prix de l'énergie. Les coûts de l'énergie et leur part dans le produit intérieur brut auront tendance à s'accroître avec la relance économique, mais devraient rester dans une limite supportable. Les hausses de prix se répercutent de manière plus accrue sur les secteurs à forte consommation d'énergie et déclenchent un changement structurel parfaitement souhaitable. En principe, il faut aspirer à une approche coordonnée au niveau international afin que les entreprises multinationales ne soient pas désavantagées.



Plus vite on accepte que l'énergie soit un facteur de production et un fondement précieux pour le bien-être, plus les effets négatifs à court terme diminueront. Dès lors, cela vaut la peine d'investir dans la production intelligente et la consommation réduite. Les coûts plus élevés de l'énergie sont supportables parce que l'utilité des services énergétiques est supérieure au prix à payer aujourd'hui pour ces services. Il est important pour l'économie que les augmentations de prix s'effectuent de manière prévisible et affectent les concurrents de la même manière. S'accommoder d'un manque d'énergie ou d'un prix très élevé à la suite d'une pénurie cruelle ou de limites environnementales serait nettement plus grave au niveau économique (et donc pas une solution alternative). Chaque kilowatt-heure manquant coûte plus que sa production par le biais d'énergies renouvelables.

La promotion des énergies renouvelables apporte de nouvelles activités économiques et permet donc de créer des postes de travail. A l'avenir, les moyens d'encouragement représenteront un investissement nécessaire et efficace s'il est utilisé de manière appropriée. Il est nécessaire parce que l'utilisation globale des énergies renouvelables est incontournable et parce qu'il est judicieux, sur le plan économique, de lancer à temps le processus de remaniement et de ne pas agir uniquement sous la pression de problèmes imminents.

Le remaniement nécessaire de l'approvisionnement en énergie est supportable au niveau économique lorsqu'il est entrepris à temps. Il serait approprié de calculer les coûts macroéconomiques et l'utilité de la promotion des énergies renouvelables et de les prendre en compte dans les considérations relatives aux coûts, en incluant les effets externes, les possibilités et les limites du progrès technologique ainsi que les pénuries de ressources.



Intégration complexe

Les énergies renouvelables importantes, telles que l'énergie solaire ou l'énergie éolienne, présentent une production fluctuante à court terme. L'intégration de ces formes d'énergie dans l'ensemble du système, de manière à ce que l'offre et la demande soient équitables, nécessite des frais techniques considérables.

La fonction de l'approvisionnement en énergie est de fournir de l'énergie aux consommateurs lorsque de la chaleur, de la puissance, de la mobilité ou de la communication sont requises. Les nouvelles énergies renouvelables ne remplissent que partiellement ces exigences. Plus la part dans l'offre en énergie est grande, plus il est important d'adapter l'offre fluctuante à la consommation. Si les nouvelles énergies renouvelables couvrent une part considérable de l'approvisionnement, elles doivent être transformées par des processus de conversion et de stockage conformément à la demande des consommateurs. Les puissances installées ou les quantités d'énergie créées donnent donc peu d'informations sur la contribution des énergies renouvelables dans l'approvisionnement. Par contre, l'élément décisif est que l'énergie nécessaire est disponible à tout moment avec la puissance exigée.

Des petites quantités d'énergies renouvelables fluctuantes peuvent, aujourd'hui, être absorbées avec des dépenses relativement basses. Cependant, l'augmentation souhaitée des énergies renouvelables implique un développement de l'infrastructure énergétique. En l'occurrence, il faut naturellement rechercher différentes solutions pour les diverses énergies. Dans une première phase, les nouvelles énergies renouvelables peuvent être intégrées dans le système énergétique dans la forme où elles sont créées, à savoir en tant que chaleur, électricité et biocarburants. Dans une deuxième phase, des processus de conversion sont nécessaires. Il faut également continuer à les développer. L'adaptation du système énergétique à une production d'énergie de plus en plus fluctuante peut s'effectuer, en partie, aussi du

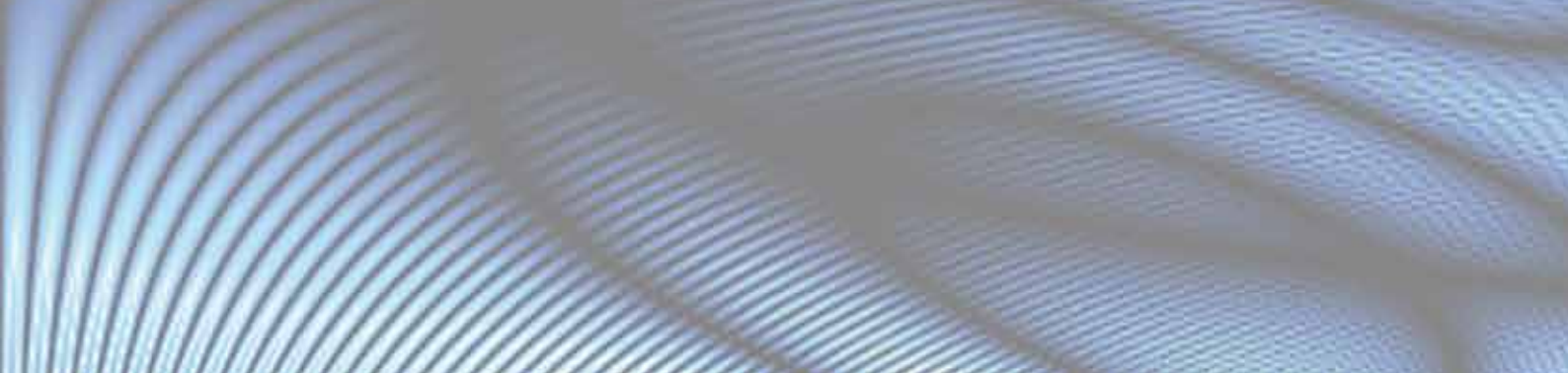
côté de la demande. La «gestion axée sur la demande» complète l'adaptation de l'offre et réduit les dépenses de celle-ci. Si des énergies renouvelables s'imposent sur le marché, il est indispensable de combiner les mesures de l'offre et celles de la demande.

Chaleur

Pour la production de chaleur à partir des énergies renouvelables, le problème de l'adaptation aux besoins se pose uniquement avec l'énergie solaire. La solution à ce problème est le stockage, assuré aujourd'hui essentiellement par l'eau. Si la capacité de stockage ne suffit pas, l'adaptation aux besoins s'effectue le plus souvent par le biais de l'électricité et du bois. Il en va de même lorsque des pompes à chaleur ne fournissent pas totalement les besoins en chaleur nécessaires.

Electricité

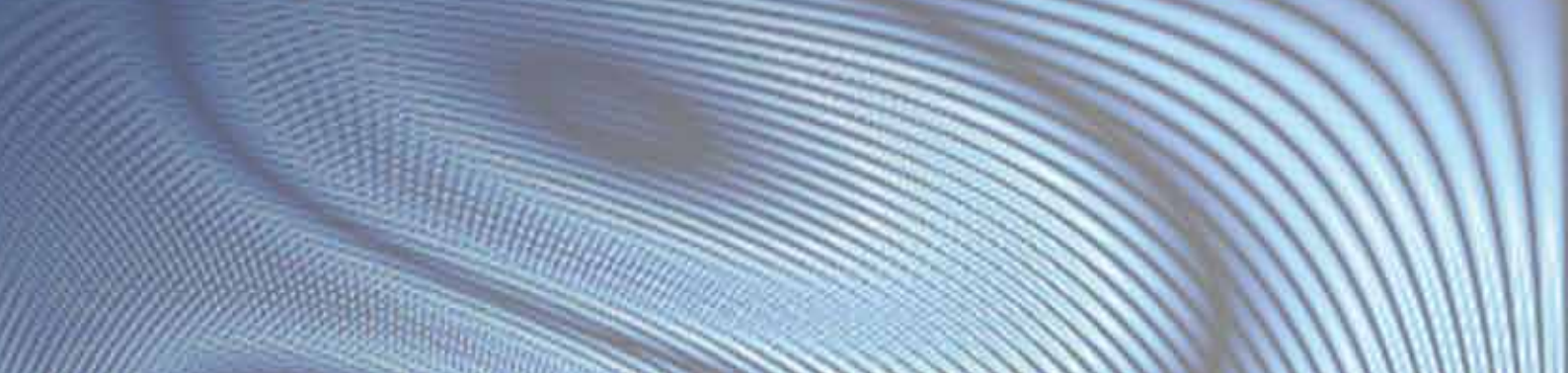
L'ajustement de la consommation d'électricité variable est une tâche essentielle pour l'industrie électrique. Il doit toujours y avoir assez de centrales électriques à disposition pour couvrir les besoins et garantir la stabilité du réseau. La Suisse a l'avantage de disposer des puissances réglantes et des puissances de réserve nécessaires grâce aux centrales à accumulation. D'autres pays doivent mettre à disposition des centrales thermiques sur demande. La puissance de ces centrales correspond, dans un cas extrême, à la puissance installée des installations éoliennes et photovoltaïques. Avec le développement de l'énergie éolienne et du photovoltaïque, nous nous posons également la question de savoir si les réserves de puissance des centrales hydrauliques existantes suffisent.



En ce qui concerne l'intégration de la production d'électricité fluctuante, les premières études prennent uniquement en considération les prochaines décennies, comme pour l'Allemagne par le biais de la Deutsche Energie-Agentur (Agence allemande de l'énergie) (2005 et 2010) qui tient compte d'une part de production d'électricité à partir du vent et d'autres énergies renouvelables de 20% pour 2015 et de 39% pour 2020/25. Dans sa première étude sur les réseaux «dena-Netzstudie I», l'Agence allemande de l'énergie a calculé le besoin de développer 850 kilomètres de lignes de transport d'énergie pour 2015, dont jusqu'à présent seuls 90 kilomètres ont été achevés. La deuxième étude «dena-Netzstudie II» montre que les lignes d'une longueur totale de 3 400 à 7 400 kilomètres doivent être construites d'ici 2020 avec des coûts d'investissement situés entre 9,7 et plus de 20 milliards d'euros.

Si la part d'électricité produite de manière stochastique augmente, la régulation du réseau et la production de puissance de réserve seront plus complexes. Dans ce cas, il faut veiller aux différents aspects suivants:

- L'intégration de l'électricité éolienne et photovoltaïque est plus facile dans les réseaux géographiquement étendus que dans les petits parce que la probabilité que le vent souffle ou que le soleil brille quelque part dans l'aire de desserte est élevée. Pour ce faire, les réseaux doivent être suffisamment puissants sur tous les niveaux de tension.
- Plus les prévisions en matière de rayonnement solaire et de vent sont bonnes, plus les besoins en puissance réglante et en puissance de réserve sont faibles.
- La puissance disponible en Suisse pour la régulation du réseau et le maintien des capacités de réserve suffit encore pour l'instant, mais elle doit être revue à la hausse en raison de la production croissante d'électricité éolienne et solaire. Le moyen le plus efficace est d'augmenter la puissance des centrales à accumulation et de développer l'accumulation par pompage. Il semble que l'exploitation des centrales à accumulation est davantage déterminée par les besoins de l'ensemble de la Suisse. De cette manière, une tension se crée entre la promotion des énergies renouvelables du pays et les intérêts commerciaux des sociétés d'électricité. Il faut un concept d'exploitation des bassins d'accumulation pour l'ensemble de la Suisse qui doit être mis à exécution par la Société suisse pour l'exploitation du réseau.



- Il faut également vérifier la manière dont l'énergie hydraulique de la Suisse pourrait être utilisée dans le cadre européen. A l'avenir, la Suisse dépendra nettement plus qu'aujourd'hui de la collaboration internationale et doit de son côté fournir des offres commercialisables. Outre la capacité d'acheminement, la puissance de crête disponible issue des centrales hydrauliques est la contribution suisse la plus précieuse. Etant donné les besoins européens en puissance, elle ne doit toutefois pas être surestimée.
- Il est nécessaire de mettre au point des accumulateurs qui permettent un stockage d'électricité à grande échelle sur le plan économique. Il existe déjà des projets relatifs à l'utilisation des batteries de voiture. Seules les batteries de véhicules hybrides pouvant être reliées au réseau entrent en ligne de compte. Les dépenses pour l'exploitation de ces accumulateurs ne doivent pas être sous-estimées.
- Enfin, il reste encore la possibilité de récupérer l'électricité excédentaire via des processus physico-chimiques, par exemple en produisant de l'hydrogène à partir de cette électricité.

Biogaz et biomasse

Le biogaz peut être stocké ou injecté dans les conduites de gaz existantes sous forme comprimée. La biomasse, qui n'est pas consommée directement, peut être transformée en carburants et en combustibles liquides ou gazeux. Toutefois, les potentiels sont limités et risquent de ne pas satisfaire les besoins en carburants et en combustibles. Une des possibilités consiste à produire des vecteurs énergétiques liquides ou gazeux à l'aide de l'électricité issue de l'énergie solaire, du vent et de la géothermie, ce qui pourrait également contribuer à résoudre le problème des accumulateurs de courant. Les besoins en carburants synthétiques dépendent de l'évolution sur le marché de l'automobile.

Une part croissante d'énergies renouvelables dans l'approvisionnement nécessite des processus de régulation, de stockage et de transformation coûteux afin que l'adaptation à la consommation soit possible. Les processus correspondants doivent être améliorés par la recherche et le développement.

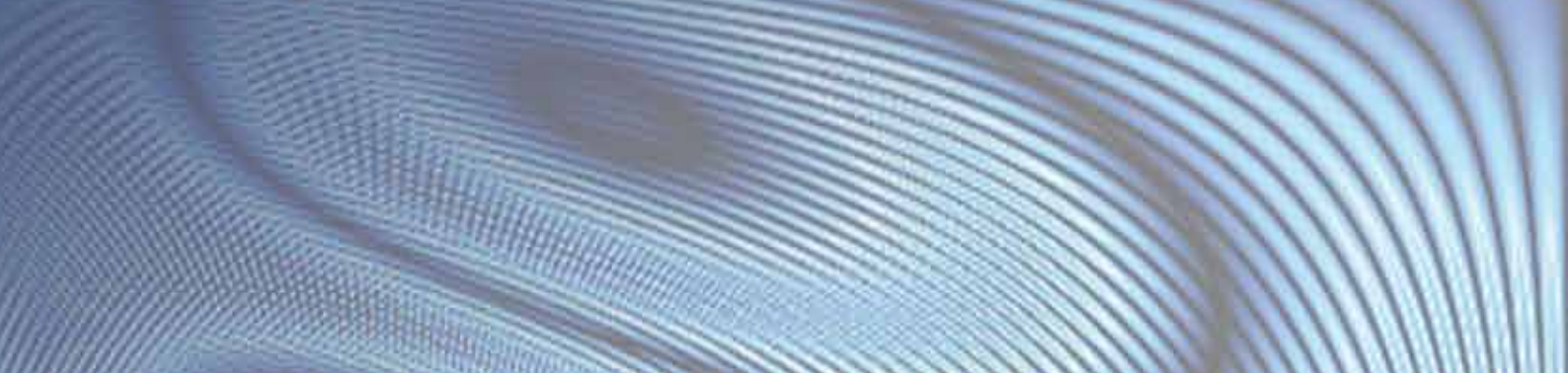


L'économie énergétique

Avec le remaniement du système énergétique, les tâches de l'économie énergétique vont également changer. De nouveaux acteurs du marché vont entrer en jeu simultanément.

L'approvisionnement actuel en énergie prend une très grande importance. Il est vrai que le secteur de l'approvisionnement en électricité est fragmenté, que l'approvisionnement en gaz est pris en charge par les communes et que l'approvisionnement en combustibles et carburants s'effectue via une multitude de distributeurs. Pourtant, la participation des consommateurs d'énergie, si tant est qu'il y en ait une, se limite à décider si et dans quelle mesure un vecteur énergétique déterminé doit être utilisé. Le système énergétique est décentralisé par les nouvelles énergies renouvelables et son importance au niveau de la technique d'approvisionnement s'accroît. La taille moyenne des installations de production d'énergie va plutôt diminuer, celle des fournisseurs d'énergie va plutôt augmenter. Outre les grandes installations, un nombre croissant de petites installations déterminera la structure d'approvisionnement. Les consommateurs d'énergie deviendront eux-mêmes des acteurs de l'approvisionnement en énergie s'ils exploitent leurs propres dispositifs de production tels que les éoliennes, les installations photovoltaïques, les centrales de biomasse, les installations de biocarburants ou autres systèmes de ce genre.

Cependant, les nouvelles énergies renouvelables n'ont pas pour effet que l'infrastructure existante perde de son utilité. Au contraire, même les consommateurs ayant leurs propres capacités de production continuent de dépendre de la fourniture des besoins restants, de la récupération des surplus, de l'injection dans le réseau et de la régulation du réseau basée sur l'économie énergétique. Seules quelques personnes qui se suffisent à elles-mêmes ne dépendent pas du réseau. Ce qui vaut en particulier pour l'électricité. En tant qu'exploitante du réseau de transmission, la Société pour l'exploitation du réseau effectue la régulation du réseau, met à disposition l'énergie d'ajustement et prend en charge les fonctions principales dans le cas de l'encouragement de la production d'électricité à partir des énergies renouvelables.



Les réseaux de distribution conservent également leur fonction. La production décentralisée d'électricité peut, certes, entraîner une réduction des charges locales et régionales sur le réseau. Dans l'ensemble, les nouvelles énergies renouvelables posent des exigences supplémentaires relatives à l'industrie électrique. L'élément le plus important est la régulation du réseau déjà mentionnée en raison de la production d'électricité fluctuante à partir du vent et de l'énergie solaire. Etant donné l'injection accrue dans le réseau, l'extension de ce dernier constitue une exigence supplémentaire. En Allemagne, l'extension nécessaire du réseau constitue déjà un problème majeur. En Suisse, certaines extensions du réseau supplémentaires pourraient également être nécessaires à cause de l'injection du courant issu des énergies renouvelables. La loi sur l'approvisionnement en électricité prévoit, en outre, que les entreprises d'approvisionnement en électricité pourront être mises à contribution si la production d'électricité supplémentaire à partir des énergies renouvelables exigée dans la loi n'est pas atteinte. Les fonctions de l'industrie électrique (et des autres secteurs de l'économie énergétique) ne vont pas se simplifier avec cette évolution.

La contribution croissante des énergies renouvelables dans l'approvisionnement exige des puissances d'ajustement et des puissances réglantes plus élevées par le biais de l'économie énergétique bien qu'elle ne reste directement chargée que d'une partie de l'approvisionnement. Cette situation concerne spécialement l'industrie électrique. Sans un réseau solide et sans une puissance de production suffisante pour la charge de base, la charge moyenne et la charge de crête, une production d'électricité très fluctuante ne peut pas être prise en charge.

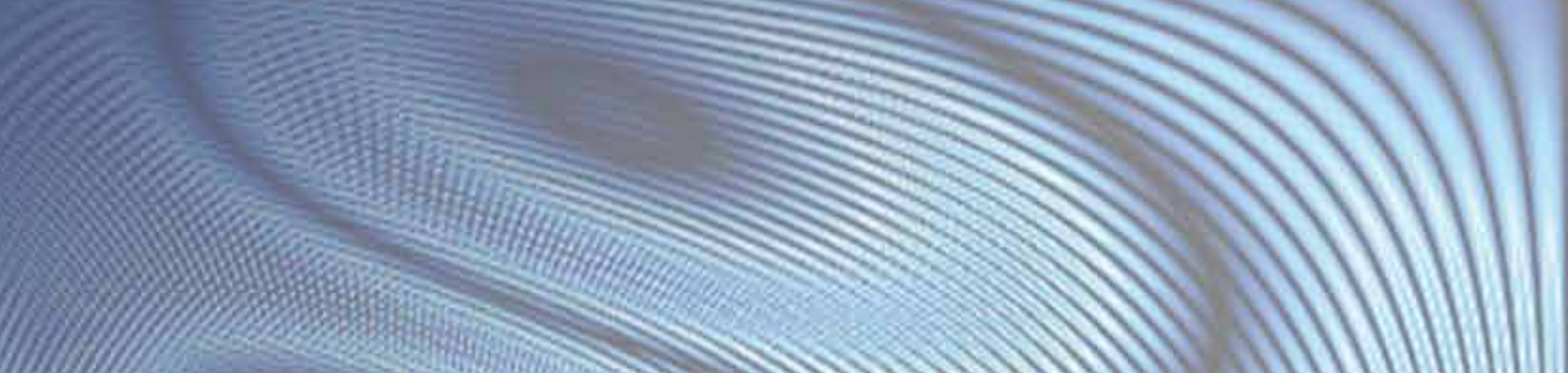
Effets sur l'environnement et le climat

Les énergies renouvelables bénéficient d'une image positive. Pourtant, on oublie facilement qu'elles polluent aussi l'environnement. Il faut également tenir compte de cet aspect lors de leur utilisation.

Elles ne sont pas en soi supérieures aux autres énergies en ce qui concerne la pollution de l'environnement. Certes, la plupart des énergies renouvelables ne provoquent aucune émission directe de polluants et de gaz à effet de serre. Malgré tout, elles présentent un certain impact sur l'environnement et le climat en raison de la consommation nécessaire de matières premières. En outre, elles peuvent polluer l'espace naturel, les eaux et le sous-sol ainsi que générer du bruit. Afin de déterminer correctement la pollution, il faut établir pour chaque technologie des analyses du cycle de vie (ACV) qui reproduisent les différents produits, de l'extraction de la matière première à l'élimination. De cette manière, la base de données «ecoinvent» du Centre suisse pour les inventaires écologiques (www.ecoinvent.ch) permet d'examiner de près différentes technologies ainsi que des systèmes énergétiques complets et de les comparer entre eux dans une base de données sécurisée.

Sur cette base, l'Institut Paul Scherrer (PSI) a déterminé la pollution de l'environnement et celle causée par les gaz à effet de serre pour la production d'électricité et de chaleur sous la forme de valeurs clés et d'indicateurs (Point sur l'énergie 1/1999, Point sur l'énergie 3/2000, Point sur l'énergie 9/2003, Point sur l'énergie 11/2004, Point sur l'énergie 20/2010). On remarque que l'énergie hydraulique obtient toujours le meilleur score en ce qui concerne les émissions de CO₂, suivie de près par l'énergie nucléaire. Les nouvelles énergies renouvelables sont un peu moins bien classées, mais elles réalisent un meilleur score que la production d'électricité fossile d'au moins un ordre de grandeur.

Dans le cas de la production de chaleur, le bois est le plus intéressant au niveau des émissions de CO₂ et se situe devant la pompe à chaleur fonctionnant avec l'électricité d'origine nucléaire et devant la chaleur solaire. Les pompes à chaleur actionnées par le courant issu des centrales à gaz modernes obtiennent un résultat nettement plus mauvais et, à plus forte raison, la production de chaleur à partir du gaz naturel et du pétrole (cf. Point sur l'énergie 1/1999).



L'étude Empa «Evaluation écologique des biocarburants» (2007) a montré que les énergies renouvelables peuvent mener à des bilans négatifs concernant l'environnement et les gaz à effet de serre. Toute une série de carburants issus de la biomasse obtiennent un résultat plus mauvais que celui de l'essence en ce qui concerne les émissions de gaz à effet de serre ou l'ensemble de la pollution de l'environnement. Il n'est pas exclu que, dans des circonstances défavorables, il faille mettre au total plus d'énergie dans la production des biocarburants que ce qui est en fin de compte disponible. L'effort visant à fournir le plus d'énergie possible issue de la biomasse sans examen des limites écologiques n'entraîne pas seulement une erreur de développement écologique, mais il compromet également la production alimentaire qui doit être prioritaire. L'étude de la SATW «Biocarburants – Opportunités et limites» (2009) est arrivée à la même conclusion.

L'utilisation des énergies primaires renouvelables est liée à un impact considérable sur le climat et l'environnement en raison des dépenses connexes en matières premières. La recherche et le développement doivent veiller à ce que les degrés d'efficacité des techniques d'utilisation soient augmentés, que les dépenses spécifiques en matières premières soient réduites et que les matières premières avantageuses du point de vue écologique soient utilisées. Les énergies renouvelables ne peuvent être encouragées par l'Etat que si elles remplissent les exigences minimales relatives à la protection de l'environnement et à l'impact sur le climat.

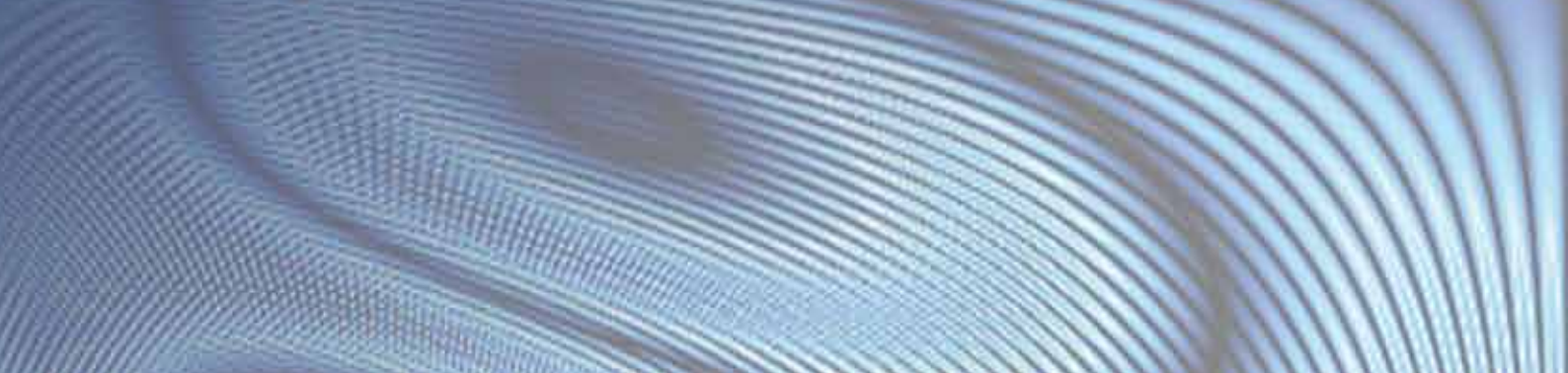


Aspects sociaux

Outre les effets négatifs déjà mentionnés, l'utilisation des énergies renouvelables a une série de conséquences supplémentaires pertinentes sur le plan social. Parmi celles-ci figure notamment les conséquences des accidents, voire des catastrophes, par ex. en cas de ruptures de barrage, l'augmentation du prix des denrées alimentaires ou la modification du paysage.

Aujourd'hui, une grande quantité d'énergie est gaspillée parce que les services énergétiques sont fournis avec des degrés d'efficacité trop bas. Du point de vue actuel, il semble déjà improbable pour des raisons économiques que l'utilisation à ce jour de l'énergie par unité du produit intérieur brut puisse, à l'avenir, être maintenue même dans le cas d'un approvisionnement reposant largement sur des énergies renouvelables. Dès lors, le style de vie et le comportement de consommation de la population en sont affectés, mais pas forcément la qualité de vie. Grâce à l'efficacité énergétique plus élevée, il devrait même être possible, notamment dans la sphère habitée, de dépasser le confort actuel de l'habitat en utilisant nettement moins d'énergie. Certaines adaptations au niveau de la consommation, en particulier dans le cas de la mobilité, ne doivent toutefois pas être exclues.

Comme nous l'avons déjà mentionné, les coûts de l'énergie constitueront une part plus élevée du produit intérieur brut. Même si cette situation est parfaitement supportable du point de vue macroéconomique, les couches de la population à faibles revenus ainsi que différents secteurs, tels que les transports, en seront affectés de manière relativement forte. Il faut s'attendre à ce que les milieux concernés réagissent à cette évolution. Des mesures d'assouplissement pourraient dès lors s'imposer bien avant que la majeure partie des coûts de l'énergie ne soit attribuée aux énergies renouvelables.



Les prix croissants de l'énergie se répercuteront jusqu'à un certain degré sur le comportement des consommateurs. Les citoyens décident de l'utilisation de l'énergie et des investissements et donc de l'avenir de l'énergie, dans des cas particuliers lors de référendums. Un approvisionnement reposant sur les énergies renouvelables nécessite son acceptation par la société. Certes, celle-ci est aujourd'hui le plus souvent vérifiée, mais de grands espoirs sont placés dans les énergies renouvelables, notamment lorsqu'il s'agit de remplacer les centrales nucléaires ou les énergies fossiles. Toutefois, la disposition des différents consommateurs à utiliser des énergies renouvelables n'était, jusqu'à présent, guère appropriée. Ce n'est qu'avec l'introduction de la rétribution de l'injection dans le réseau électrique à prix coûtant que la situation a changé. L'histoire des autres technologies montre que l'adhésion actuelle pourrait également diminuer à plus long terme. Les premiers exemples sont l'opposition aux installations éoliennes, aux installations solaires ou aux petites centrales hydrauliques. De même, les centrales géothermiques doivent gagner à nouveau l'acceptation après les premières expériences négatives à Bâle.

La conception de la population et de l'économie, selon laquelle les énergies non renouvelables doivent être remplacées par les énergies renouvelables, est déterminante pour que ces dernières puissent s'imposer. Pour ce faire, il faut une prise de conscience de la part des mondes politique, scientifique et économique. Cinq messages occupent une position centrale: 1. Les prix de l'énergie vont augmenter. 2. Ce ne sont pas les prix de l'énergie qui sont pertinents, mais les prix des services énergétiques. 3. Plus l'énergie est utilisée de manière efficace, plus ces prix sont avantageux. 4. Un manque d'énergie est plus difficile à gérer que des prix plus élevés de l'énergie. 5. La contribution des énergies renouvelables à l'approvisionnement et le temps nécessaire pour remanier le système énergétique doivent être évalués de manière réaliste.

Importations peu réalistes à court terme

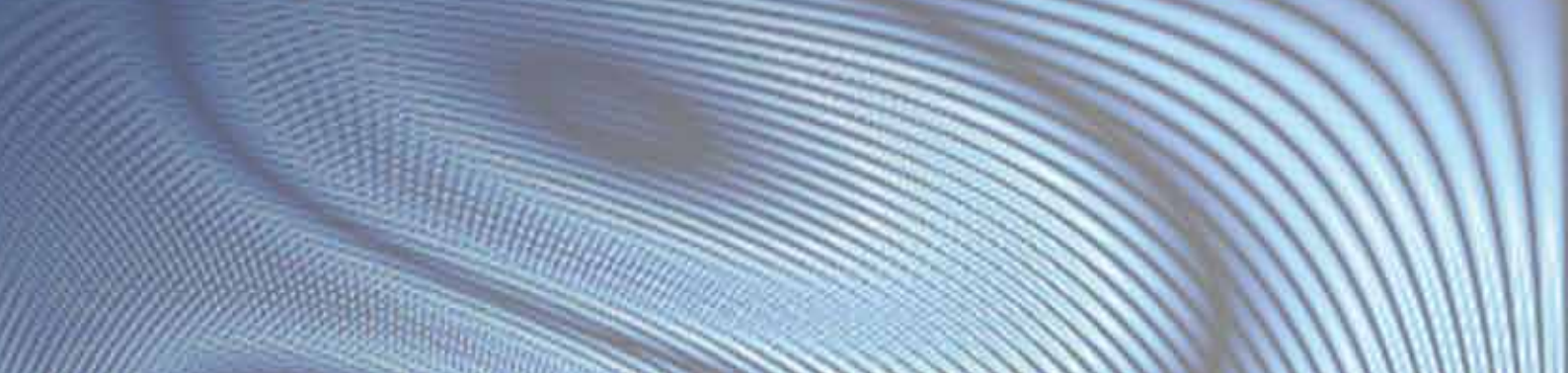
Divers acteurs de la politique énergétique placent de grands espoirs dans une importation éventuelle des énergies renouvelables. Les chances d'y parvenir semblent maigres en y regardant de plus près.

Les énergies renouvelables indigènes présentent plusieurs avantages. En effet, elles sont disponibles à l'intérieur du pays, elles augmentent la sécurité de l'approvisionnement, leur développement entraîne un approvisionnement en énergie ayant tendance à être largement soutenu. En outre, la valeur ajoutée profite principalement à sa propre économie. Il est donc logique d'utiliser le plus largement possible ses propres énergies renouvelables.

Les potentiels de développement des différentes énergies renouvelables sont, toutefois, répartis de manière très inégale sur le plan géographique. La Suisse, dont les potentiels économiques pour développer les énergies renouvelables sont comparativement limités, doit dès lors se poser la question de savoir si les énergies renouvelables ne pourraient pas être importées. En principe, cette situation est envisageable si les pays producteurs présentent des surplus qu'ils ne peuvent pas utiliser de manière avantageuse sur le plan économique pour leur propre approvisionnement. A l'exception des Etats exportant le pétrole et le gaz naturel, tous les pays ont besoin de faire reposer davantage leur propre approvisionnement en énergie sur les énergies renouvelables et ce, le plus vite possible. C'est pourquoi ils utiliseront forcément leurs énergies renouvelables en premier lieu pour couvrir leurs propres besoins. Il en va de même pour les pays de l'UE qui doivent satisfaire aux exigences complexes en matière de développement.

Seuls le bois, les combustibles et les carburants peuvent être négociés à l'échelle mondiale pour une période prévisible. Toutefois, il ne semble pas approprié ni sur le plan économique ni sur le plan énergétique d'importer, par ex., du bois de Sibérie pour produire de l'énergie. En tant que fournisseur de biocarburants, le Brésil, qui projette de continuer à développer la production d'éthanol, entre principalement en ligne de compte. Les Etats-Unis, pays énergivore, s'intéressent cependant déjà à ce développement. Par ailleurs, les potentiels y sont également limités.

En Suisse, l'espoir de pouvoir importer de l'électricité éolienne de la mer du Nord et de la mer Baltique pour couvrir les pénuries d'électricité prévisibles a été exprimé lors des débats politiques. La question de savoir si ce genre d'importations est possible reste ouverte car les Etats concernés ont besoin de sites propices pour les parcs éoliens afin d'atteindre eux-mêmes les objectifs fixés. A cela s'ajouterait le problème du transport de l'électricité, indépendamment de la question de savoir si les entreprises suisses créent leurs propres parcs éoliens sur des littoraux ou si ces parcs sont exploités par les Etats concernés. La construction des lignes nécessaires ne serait guère plus facile dans les pays de transit qu'en Suisse. En outre, notre pays ne pourrait pas utiliser de manière autonome les capacités de transport en vertu du droit de l'UE.



Il a été également proposé que la Suisse puisse offrir des réserves de puissance en contrepartie de l'utilisation des sites pour les parcs éoliens. Toutefois, la réserve de puissance suisse est limitée et serait encore nettement réduite si les centrales nucléaires existantes n'étaient pas remplacées à l'expiration de leur durée de vie.

Une réticence semblable est perceptible à l'égard de la possibilité d'introduire l'électricité solaire ou éolienne issue des pays du Sud. L'Espagne, par ex., dispose de grandes superficies utilisables sur lesquelles de l'électricité solaire peut être produite avec un rendement plus élevé que chez nous. Néanmoins, les grands projets de ce genre sont également confrontés au problème du manque de capacités d'acheminement pour transporter l'électricité dans les centres de consommation européens. Les projets pour les lignes à haute tension au-dessus des Pyrénées en suspens depuis longtemps se sont, jusqu'à présent, heurtés aux oppositions politiques.

Il y a environ 30 ans déjà, l'utilisation de l'énergie solaire en Afrique du Nord avait en outre été proposée. En l'occurrence, l'électricité solaire aurait été injectée dans le réseau européen via des installations de transmission à courant continu de haute tension. On pourrait également imaginer la fabrication de combustibles et de carburants liquides sur place. La pénurie des énergies fossiles et la problématique du climat ont pour conséquence que ces projets seront à nouveau mis sur la table. Afin de les réaliser, il ne faudrait pas seulement résoudre des problèmes techniques et économiques, mais aussi des problèmes politiques de taille.

Une importation de l'électricité issue des énergies renouvelables ainsi que des biocombustibles et biocarburants n'est en principe pas exclue, mais on ne peut s'y attendre au mieux que dans quelques décennies.



S'engager sur le long chemin

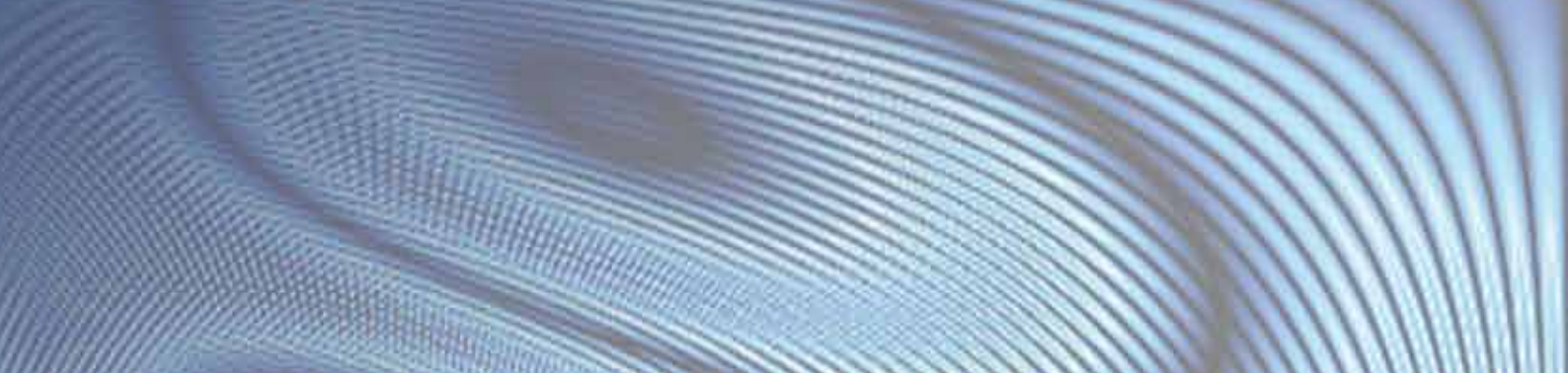
Le remaniement du système énergétique est un défi à long terme. Il ne peut être relevé que si tous les acteurs, des instituts de recherche jusqu'aux consommateurs, collaborent activement. Une action rapide et décidée est nécessaire et ce, au niveau de la recherche, du développement et de l'application.

On n'attend à juste titre des nouvelles énergies renouvelables qu'elles deviennent à long terme le pilier essentiel de l'approvisionnement en énergie. Un plein approvisionnement basé sur les énergies renouvelables est en principe possible, mais celles-ci ne sont qu'au début de leur développement. Il faut fournir encore beaucoup d'efforts jusqu'à ce que la demande croissante de la population mondiale grandissante puisse être entièrement ou largement satisfaite par les sources d'énergies renouvelables. Du point de vue actuel, ce n'est possible au niveau économique qu'avec une plus faible demande énergétique. Dans ce cas, l'efficacité énergétique et matérielle élevée est absolument nécessaire.

Le chemin vers un vaste approvisionnement par des énergies renouvelables est long. En effet, cela nécessitera de nombreuses décennies et il serait imprudent de sous-estimer les défis jalonnant ce chemin. Il faut accepter bon gré mal gré que les énergies conventionnelles doivent supporter la charge principale de l'approvisionnement en énergie encore pendant quelques décennies et qu'elles ne puissent être remplacées que progressivement. L'approvisionnement en énergie devient plus coûteux, indépendamment de la question de savoir s'il repose sur les énergies conventionnelles ou sur les nouvelles énergies renouvelables.

Afin que le remaniement de l'approvisionnement en énergie actuel puisse être un succès, il faut franchir une série d'étapes:

- Il faut continuer d'améliorer et d'étendre les technologies de production et d'utilisation des énergies renouvelables. Avec l'orientation à long terme de son concept de recherche en matière d'énergie sur le développement durable avec un calendrier jusqu'à 2050, la Confédération établit les bonnes priorités. Il est essentiel que les moyens de recherche du secteur public soient augmentés et que les installations pilotes ainsi que les installations de démonstration soient également encouragées de manière accrue.
- La recherche énergétique devrait se consacrer davantage aux questions sociales et sociétales dans le cadre du programme «Bases de l'économie énergétique» de l'Office fédéral de l'énergie. Le remaniement de l'approvisionnement en énergie requiert des changements fondamentaux dans le système énergétique et dans le comportement des consommateurs. S'il manque des contraintes extérieures et si la population ne soutient pas ce changement, le processus de transformation ne s'imposera que de manière hésitante et avec des difficultés et des coûts nettement plus importants.

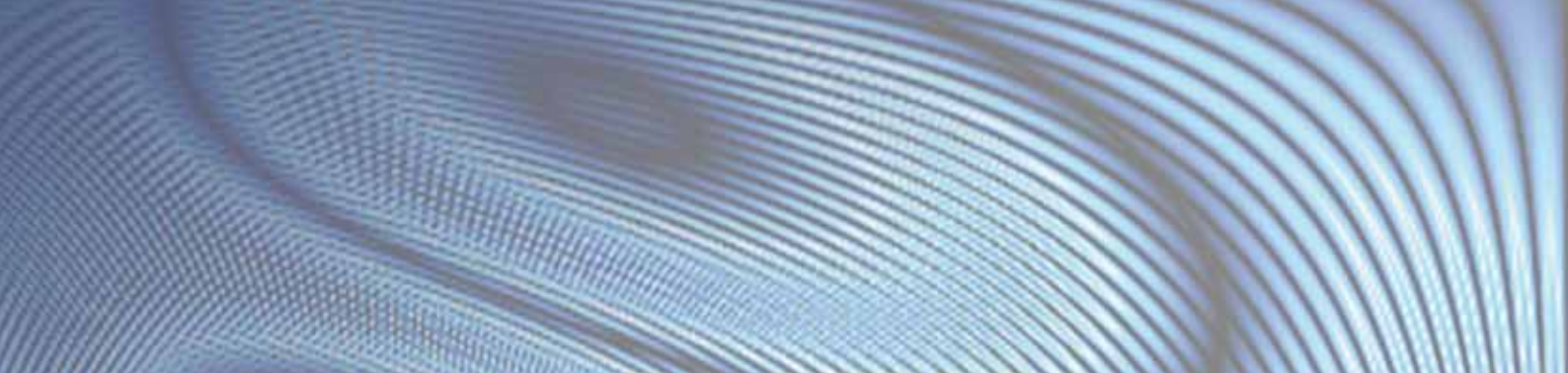


- Grâce à la rétribution de l'injection dans le réseau électrique, la production d'électricité à partir des énergies renouvelables bénéficie d'un élan essentiel. Il faut néanmoins évaluer si les instruments utilisés sont appropriés. Puisqu'un vaste approvisionnement par le biais d'énergies renouvelables implique un encouragement sur des décennies, une stratégie d'encouragement optimale au niveau économique doit être développée et mise en œuvre. Ce qui est notamment le cas dans les intérêts de la politique qui décide du type d'encouragement, des moyens et de l'application. L'élaboration de cette stratégie d'encouragement est un programme de recherche complexe et interdisciplinaire.
- L'électricité joue un rôle clé dans le futur système énergétique. Si la part de l'énergie éolienne et solaire dans l'approvisionnement augmente, il faut davantage de dispositions afin que la production fluctuante puisse être adaptée aux besoins. Pour ce faire, des technologies de stockage et de transformation perfectionnées sont nécessaires et les centrales à accumulation doivent être utilisées d'une manière coordonnée qui s'oriente sur les besoins en puissance réglante et d'ajustement de l'ensemble du réseau. La nécessité croissante d'adapter la consommation ne réclame pas seulement des dispositions techniques et des investissements correspondants, mais aussi des modifications d'organisation du système d'approvisionnement. Les fonctions connexes sont complexes et conditionnent les solutions d'ensemble qui incluent tous les acteurs. Dans un approvisionnement reposant essentiellement sur les énergies renouvelables, l'économie énergétique ne peut pas être seule responsable de la garantie de la sécurité de l'approvisionnement. Les producteurs d'énergie décentralisés et les consommateurs doivent également apporter leurs contributions.
- La Suisse ne peut guère espérer pouvoir couvrir ses besoins dans une plus large mesure en important des énergies renouvelables. Il est vrai qu'il existe des pays avec des conditions nettement plus favorables pour utiliser notamment l'énergie solaire ou éolienne. Cependant, ils ont besoin des énergies renouvelables en premier lieu pour leur propre approvisionnement. La question de savoir si de grands projets tels que des centrales solaires dans le Sahara fournissant de l'énergie à l'Europe peuvent être éventuellement réalisés dans quelques décennies est ouverte. La Suisse devrait, dès lors, se concentrer en premier lieu sur le développement le plus vaste possible des énergies renouvelables à l'intérieur du pays.

La pénurie prévisible des énergies fossiles et la problématique du climat rendent nécessaire le passage aux énergies renouvelables. La vitesse à laquelle ce passage doit s'effectuer dépend, d'une part, du développement global de la consommation d'énergie et d'autre part, de la question de savoir si l'énergie nucléaire pourra continuer à être utilisée et si les technologies du charbon sans CO₂ (séquestration) seront disponibles. Le processus de remaniement du système énergétique exige le concours de tous les acteurs. La recherche et l'industrie sont responsables du développement de technologies énergétiques compétitives. L'Etat définit une politique d'encouragement optimale et fiable sur le plan économique et fournit les moyens nécessaires à cet effet. L'économie énergétique produit elle-même des énergies renouvelables et prend en charge les fonctions d'ajustement et de régulation. Enfin, l'économie et les ménages sont responsables du fait qu'ils utilisent les énergies renouvelables de la manière la plus efficace possible pour leurs services énergétiques.

Bibliographie

- Académies suisses des sciences: Repenser l'énergie, Pour une utilisation et conversion efficaces de l'énergie, une contribution au développement durable en Suisse (2007)
- Office fédéral de l'énergie (OFEN): Statistique globale suisse de l'énergie 2008
- Office fédéral de l'énergie (OFEN): Statistique suisse de l'électricité 2008
- Office fédéral de l'énergie (OFEN): Perspectives énergétiques pour 2035 (2007)
- Office fédéral de l'énergie (OFEN): Statistique suisse des énergies renouvelables, édition 2008 (2009)
- Office fédéral de l'énergie (OFEN): Energie éolienne et parc hydraulique suisse (2004)
- Deutsche Energie-Agentur (dena) (Agence allemande de l'énergie): Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020 (dena-Netzstudie I, 2005)
- Deutsche Energie-Agentur (dena) (Agence allemande de l'énergie): Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015-2020 mit Ausblick 2025 (dena-Netzstudie II, 2010)
- Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (EMPA): Evaluation écologique des biocarburants (2007)
- von Hayek, A.F., (1968): Der Wettbewerb als Entdeckungsverfahren, in: von Hayek (1969): Freiburger Studien, Tübingen, 2. Aufl. 1994
- Agence internationale de l'énergie (AIE): Design and operation of power Systems with large Amounts of wind power, State-of-the-art report (IEA Wind Task 25, VTT Working Papers 82, 2007)
- Painuly, J.P.: Barriers to renewable energy penetration; a framework for analysis, Renewable Energy 24 (2001)
- REN21 Renewable Energy Policy Network: Renewables 2007 Global Status Report (2007) Institut Paul Scherrer: Points sur l'énergie 1/1999, 3/2000, 5/2001, 9/2003, 11/2004, 14/2004, 16/2006, 20/2010
- Institut Paul Scherrer Institut (Stefan Hirschberg et.al.): Nouvelles énergies renouvelables et nouvelles installations nucléaires: potentiels et coûts (2005)
- Académie suisse des sciences techniques (SATW): CH50% – Pour une Suisse consommant moitié moins d'énergies fossiles, cahier SATW n° 30 (1999)
- Académie suisse des sciences techniques (SATW): Plan de route Energies renouvelables Suisse – Une analyse visant la valorisation des potentiels d'ici 2050, cahier SATW n° 39 (2006)
- Académie suisse des sciences techniques (SATW): Pénurie de pétrole et mobilité en Suisse, cahier SATW n° 40 (2008)
- Académie suisse des sciences techniques (SATW): Biocarburants – Opportunités et limites (2009)
- Conseil mondial de l'énergie (CME): Renewable Energy Projects Handbook (2004)



Impressum

Cahier de la SATW n° 42

Energies renouvelables – Les défis jalonnant le chemin vers un plein approvisionnement, décembre 2011

SATW Geschäftsstelle
Seidengasse 16, 8001 Zurich
Tél. +41 (0)44 226 50 11
info@satw.ch

Auteurs Silvia Banfi Frost, Marco Berg, Jean-François Dupont, Matthias Gysler, Eduard Kiener,
Jürg Minsch, Alexander Wokaun

Révision Irene Aegerter, Hans Hänni, Stefan Nowak, Christoph Ritz, Ulrich W. Suter, Andreas Zuberbühler

Rédaction Felix Würsten, Béatrice Miller

Photos Fotolia

ISBN 3-908235-18-9

SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences



Membre des
Académies suisses des sciences