

Energie

Auteurs

Alexander Wokaun, présidence General Energy Research Department, Institut Paul Scherrer

Bernhard Aebischer

Centre for Energy Policy and Economics, EPF de Zurich

Christof Appenzeller

Climatologie, MétéoSuisse

Jean-François Dupont

Les Electriciens Romands

Timur Gül

Energy Economics Group, Institut Paul Scherrer

Lukas Gutzwiller

Office fédéral de l'énergie, OFEN

Pamela Heck

Natural Catastrophes, Swiss Re

Roland Hohmann

Rédaction, OcCC, Berne

Christoph Rutschmann

Energie-bois Suisse

Niklaus Zepf

Axpo Holding SA



1. Introduction

Situation

La consommation d'énergie a énormément augmenté au 20^e siècle en Suisse (fig. 1). Elle a à peu près octuplé depuis 1945. Cette hausse massive tient à l'accroissement de la consommation de combustibles pétroliers, de carburants et de gaz. Mais la demande d'électricité aussi n'a cessé d'augmenter, alors que la part du charbon a fortement diminué. En 2004, la consommation d'énergie se composait comme suit: carburants pétroliers 31.3%; combustibles pétroliers 25.7%; électricité 23.1%; gaz 12.1%; autres 7.8%. La suite de ce chapitre est à comprendre avec cette évolution en arrière-plan.

Dans le contexte des changements climatiques, on parle le plus souvent du secteur énergétique comme étant responsable de ces derniers. Source principale des gaz à effet de serre produits par les activités humaines, il aurait un rôle central à jouer dans les mesures de réduction des émissions. Dans le présent rapport, nous adoptons une autre perspective et considérons le secteur énergétique comme subissant les changements climatiques. Quels seront les impacts du réchauffement et des modifications en matière de précipitations sur la production et la demande d'énergie?

A dessein, nous n'aborderons pas la consommation d'énergie des transports. Nous partons de l'idée que ces derniers sont moins concernés par les effets directs des changements climatiques

que par les effets indirects (politique climatique). Les impacts des changements climatiques sur le secteur énergétique ont été traités en détail pour les aspects suivants:

- Evolution de la demande en énergie (été, hiver)
- Production établie d'énergie électrique (force hydraulique, énergie nucléaire)
- Nouvelles énergies renouvelables (vent, bois)
- Aspects économiques (prix de l'énergie, assurances)

Ce choix n'est pas exhaustif, mais représente une sélection d'aspects intéressants et significatifs. Les changements climatiques influent sur d'autres domaines importants du secteur énergétique, tels que la sécurité d'approvisionnement, la sécurité du réseau de distribution ainsi que les perspectives d'autres formes d'énergie (géothermie, énergie solaire etc.). Ces aspects n'ont pas été traités par le groupe de travail, celui-ci ayant limité son choix.

D'autres conditions cadres exercent une plus forte influence sur le secteur énergétique que les changements climatiques. Par exemple, des facteurs d'influence tels que la croissance économique, le développement technologique, la croissance démographique et l'ouverture du marché de l'électricité ont joué dans le passé et continueront de jouer à l'avenir un rôle déterminant dans le secteur énergétique.

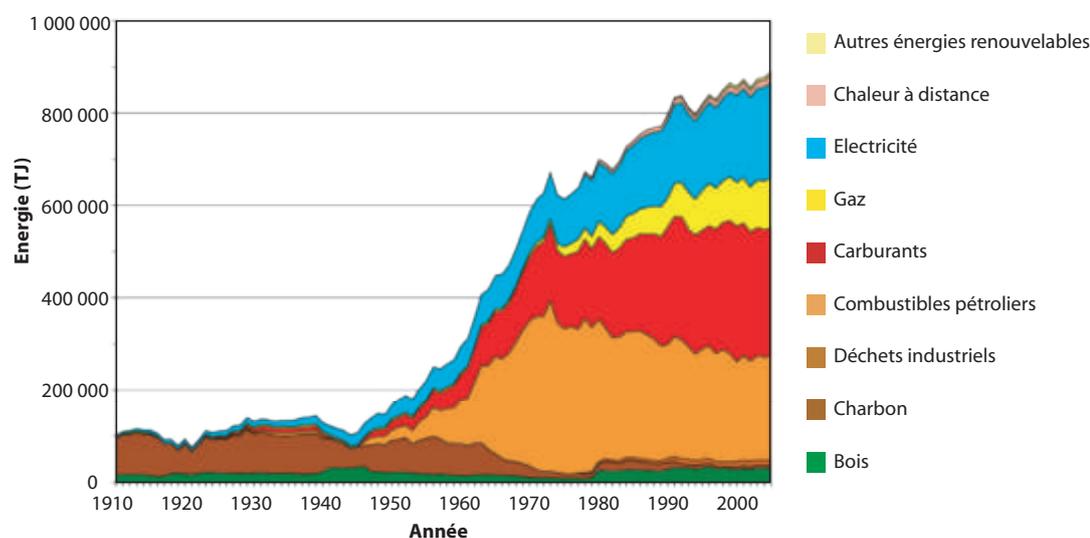


Figure 1: Consommation d'énergie en Suisse, ventilée par agents énergétiques (1 TJ \approx 0.3 GWh). (Source: OFEN Statistique globale de l'énergie 2005)

Tour d'horizon

Du fait des changements climatiques, on consommera à l'avenir moins d'énergie en hiver pour le chauffage et davantage en été pour la climatisation. Il s'ensuivra un déplacement de la demande des combustibles vers l'électricité. Le recours à la climatisation augmentera surtout dans le secteur des services.

Au chapitre de la production d'électricité, les changements climatiques auront des effets négatifs sur la force hydraulique et l'énergie nucléaire. La diminution des débits entraînera une baisse de la production hydroélectrique de 5-10% d'ici 2050. Et la température des cours d'eau étant en hausse, la capacité en eau de refroidissement utilisable par le secteur nucléaire diminuera. Durant l'été 2003, le manque de puissance de réfrigération a entraîné une diminution de 4% de la production annuelle. Or d'ici 2003, il y a aura plus souvent des périodes de forte chaleur identique à celles de l'été 2003.

Les changements climatiques amélioreront les perspectives des nouvelles énergies renouvelables. D'une part, la demande en énergie neutre du point de vue émissions de CO₂ croîtra en réaction aux changements climatiques et sous l'impulsion de la politique climatique, et d'autre part, la compétitivité des énergies renouvelables augmentera en raison de la montée des prix des énergies conventionnelles. Comparée à la consommation actuelle, la part des nouvelles énergies renouvelables dans l'approvisionnement de la Suisse en électricité atteindra plus de 10% (5500 GWh/a)¹ d'ici 2050. L'énergie éolienne a un rôle à jouer dans ce contexte. L'équipement complet de tous les sites se prêtant à des parcs éoliens permettrait d'épuiser d'ici 2050 un potentiel de 1150 GWh/a. A ceci s'ajoute un potentiel de 2850 GWh/a exploitable par des installations isolées. Si les changements climatiques devaient entraîner une augmentation de la vitesse moyenne du vent, il s'ensuivrait une production encore plus élevée d'électricité éolienne. Des événements extrêmes peuvent conduire à des arrêts de production dans certains parcs éoliens.

L'énergie du bois aussi profitera de la meilleure compétitivité des nouvelles énergies renouvelables. Le potentiel de l'énergie du bois permettra de doubler au moins l'utilisation actuelle à plus de 5 millions de m³. Si l'on tient compte des tendances à long terme de l'économie forestière et des développements de l'économie du bois, ce

potentiel pourrait même tripler. Cependant, l'utilisation du bois fera l'objet d'une concurrence croissante avec d'autres valorisations. Suite aux changements climatiques, les surfaces de forêt augmenteront et le potentiel de l'énergie du bois continuera de croître. Simultanément, l'énergie du bois jouira d'une acceptation croissante, pour autant que des progrès soient accomplis dans la réduction des émissions de poussière fine.

Dans l'ensemble, la hausse des prix de l'énergie ralentira la croissance de la consommation d'énergie. Des considérations ayant trait à l'efficacité énergétique favoriseront l'électricité. La demande d'énergies neutres du point de vue du CO₂ (nouvelles énergies renouvelables et énergie nucléaire) croîtra. De façon générale, les changements climatiques conduiront à davantage d'incertitudes, ce qui privilégiera les systèmes à court délai de retour de l'investissement.

Le risque d'interruptions d'exploitation augmente aussi dans le secteur énergétique avec les changements climatiques. Des exemples en sont la crue d'août 2005, pendant laquelle des centrales au fil de l'eau ont dû être arrêtées, ou les hautes températures de l'eau pendant l'été 2003, à l'origine d'une baisse de la production d'énergie des centrales nucléaires. Des solutions d'assurance pour les dommages et les pertes de production gagneront en importance.

Mesures

La lacune de production qui se dessine devra être réduite autant que possible. A cette fin, il faudra exploiter à fond le potentiel d'économies d'énergie et encourager davantage les énergies renouvelables et les technologies permettant d'améliorer l'efficacité énergétique. Jusqu'en 2035, le potentiel d'économie d'électricité dépendra manifestement des dépenses d'évitement; le potentiel cumulé jusqu'à des coûts de 40 ct/kWh a été chiffré à 10'000-15'000 GWh. Le potentiel théorique de réduction jusqu'en 2050 se situe vers 60% au total pour l'énergie primaire, tandis que les „Perspectives énergétiques pour 2035“ de l'Office fédéral de l'énergie² et la „feuille de route“ pour 2050 de l'ASST³ évaluent le potentiel technique d'économie à 20-25%.

L'électricité devra être produite à l'avenir sans émission de CO₂. Pour qu'une éventuelle nouvelle centrale thermique à combustible fossile n'entraîne pas d'émissions nettes supplémen-

taires, il faudra prendre des mesures additionnelles (recours à grande échelle à la pompe à chaleur et aux économies de chauffage, puits biologiques, captage et stockage du CO₂, marché des émissions).

La diversification et la redondance sont des mesures efficaces contre les impacts des changements climatiques dans le secteur énergétique. Un portefeuille large et diversifié d'énergies conventionnelles et renouvelables est une protection contre les difficultés d'approvisionnement se présentant pour l'un des agents énergétiques. De même que, par exemple, un réseau de plusieurs installations régionales de gazéification de biomasse de capacité moyenne est moins sujet à perturbations qu'une seule grande installation. Il faut être très attentif à la redondance dans les réseaux de distribution, en d'autres termes faire en sorte qu'il y ait toujours au moins deux liaisons indépendantes entre deux nœuds.

Si les plans d'urgence de l'approvisionnement national sont conçus de manière à faire face à des difficultés d'approvisionnement à court terme, ils ne sont par contre pas en mesure de remédier aux tendances à long terme. Il importe donc

d'envisager des mesures d'adaptation également côté demande. A part les mesures techniques (p.ex. délestage pendant les heures de consommation électrique de pointe), le comportement des consommatrices et consommateurs est également décisif. Ils peuvent adapter aux circonstances d'un climat modifié leur utilisation de services énergétiques non jumelés avec le processus de production.

Liens avec d'autres thèmes

Economie des eaux

Niveau des réservoirs et des cours d'eau; situation de concurrence dans l'utilisation de l'eau, entre autres avec l'agriculture (besoin d'irrigation en été)

Assurances

Manque à gagner dû à des pertes de production et assurance contre ces dernières

Ecosystèmes terrestres

Extension des forêts

Augmentation de bois de moindre valeur pour usages énergétiques

2. Consommation d'énergie

Du fait des changements climatiques, on consommera moins d'énergie en hiver pour le chauffage et davantage en été pour la climatisation. La consommation de combustibles diminuera et celle d'électricité augmentera.

Situation de départ

Dans les perspectives énergétiques 2035/2050 de l'OFEN, deux scénarios énergétiques^{4,5} sont comparés, afin d'examiner les impacts des changements climatiques sur la consommation d'énergie en Suisse. Dans le scénario de référence, les changements climatiques ne sont pas pris en considération; dans le scénario „climat plus chaud“, il est admis que d'ici 2030, la température augmentera de +2 °C pendant les mois d'été de juin à août et de +1 °C pendant les autres mois par rapport à la période de 1984 à 2002. Le rayonnement augmentera de 5%.

Les changements climatiques entraînent aussi ceux de grandeurs météorologiques importantes pour le calcul du besoin en chauffage et en climatisation. Suite au réchauffement, les degrés-

jours de chauffage (cf. encadré) diminueront d'environ 11% pendant la période de chauffage d'ici 2030 et de 15% d'ici 2050 par rapport à la valeur moyenne 1984-2004 (fig. 2).

Degrés-jours de chauffage:

Somme des différences entre la température ambiante moyenne souhaitée (20 °C) et la température extérieure moyenne de tous les jours de l'année où T < 12 °C.

Degrés-jours de climatisation:

Somme des différences entre la température extérieure journalière moyenne et la température de référence (18.3 °C) de tous les jours de l'année où T > 18.3 °C.

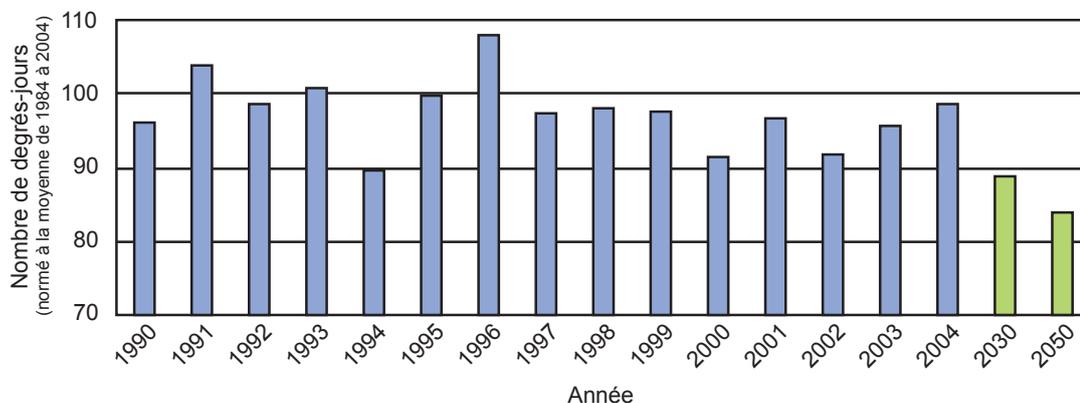


Figure 2: Nombre annuel de degrés-jours de chauffage de 1990 à 2004, normé à la moyenne de 1984 à 2004. Les valeurs représentées pour les années de 2030 à 2050 sont celles attendues par le scénario „climat plus chaud“ des perspectives énergétiques 2035/2050 de l’Office fédéral de l’énergie OFEN.⁴

A l’inverse, selon les perspectives énergétiques, les degrés-jours de climatisation (cf. encadré) augmenteront en gros de 100% pendant les mois d’été d’ici 2035. Pour une hausse de la température d’environ 2.5 °C jusqu’en 2050, telle que le scénario climatique la prévoit dans ce rapport, il faut s’attendre à une augmentation des degrés-jours de climatisation d’à peu près 150% (fig. 3).

Secteur des services

Indépendamment du réchauffement climatique, la demande en énergie thermique du secteur des services⁴ diminuera légèrement à l’avenir en raison de l’amélioration de l’efficacité énergétique et de l’isolation thermique. Malgré la croissance économique, cette demande baissera d’ici 2035 de 22’200 GWh/an à 20’800 GWh/an. Après 2035, l’amélioration de l’efficacité énergétique et l’augmentation de la surface chauffée devraient à peu près se compenser mutuellement, si bien qu’en 2050, la demande de chaleur se situera encore toujours aux environs de 20’800 GWh/an.

Les hivers plus chauds auront pour effet d’abaisser la demande de chaleur de 13% supplémentaires à environ 18’000 GWh/an d’ici 2035. En 2050, en raison du réchauffement climatique, la demande de chaleur se situera environ 18% au-dessous de celle du scénario de référence (un peu plus de 16’700 GWh/an).

Le besoin d’électricité pour la climatisation croîtra aussi indépendamment des changements climatiques d’environ 1000 GWh/an en 2000 à quelque 1500 GWh/an en 2035, en raison de l’augmentation des surfaces totalement ou par-

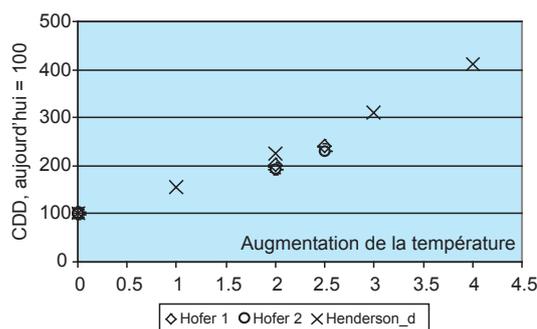


Figure 3: Augmentation des degrés-jours de climatisation (CDD) pour une élévation de la température entre 1 et 4°C pendant les mois d’été juin à août (100 = températures moyennes aujourd’hui en Suisse). Suivant la manière de calculer, les auteurs obtiennent des valeurs légèrement différentes.⁴

tiellement climatisées. La part de la climatisation dans la demande d’électricité s’élèvera ainsi de 6% en 2005 à 7% en 2035.

Les changements climatiques entraîneront un accroissement supplémentaire tant de la consommation spécifique d’électricité pour la climatisation que du besoin en climatisation. L’augmentation des degrés-jours de climatisation aura pour conséquence que la consommation spécifique d’électricité pour la climatisation croîtra de 46%. Cette évaluation de la demande de climatisation part de l’hypothèse qu’en gros 50% des surfaces non climatisées aujourd’hui seront partiellement climatisées d’ici 2035 et que 50% de celles qui le sont partiellement aujourd’hui le seront totalement à cette date. Au total, la demande d’électricité du secteur des services pour la

climatisation augmentera d'ici 2035 à environ 3200 GWh/an et se situera alors 115% au-dessus du scénario de référence.

Les degrés-jours de climatisation continueront d'augmenter jusqu'en 2050. La consommation spécifique d'électricité croîtra de ce fait d'environ 70% par rapport au scénario de référence. Mais la proportion de surfaces climatisées continuera aussi d'augmenter, si bien que pour un inventaire de bâtiments tel que celui du scénario de référence, la demande d'électricité pour la climatisation devrait se situer entre 170 et 200% ou en gros 2800 GWh/an au-dessus de la demande mentionnée dans le scénario de référence.

Ménages privés

Indépendamment du réchauffement climatique, la demande d'énergie thermique des ménages diminuera de 55'000 GWh/an en 2000 à 48'000 GWh/an en 2035 en raison de l'amélioration de l'efficacité énergétique et de l'isolation thermique. La consommation d'eau chaude diminuera de 1-2%. Le réchauffement climatique entraînera une diminution de 10% supplémentaires du besoin en énergie de chauffage d'ici 2035 et se situera alors aux environs de 44'000 GWh/an. Jusqu'en 2050, le besoin de chaleur pour le chauffage se réduira encore de 10% supplémentaires. Suite au réchauffement climatique, il faudra s'attendre en été à une augmentation de la consommation d'électricité pour la climatisation

aussi dans l'habitat. Un faible accroissement de la consommation est attendu aussi pour les réfrigérateurs et congélateurs.

Il n'existe pour l'heure aucune donnée certifiée sur la climatisation des maisons d'habitation en Suisse. Les données provenant d'autres pays ne peuvent être transposées que de façon limitée à la Suisse, car dans la plupart des régions, les modes de construction, les techniques de chauffage et de climatisation, les réglages et les comportements diffèrent fortement des conditions régnant ici. Il est admis en Suisse que le besoin spécifique de climatisation dans l'habitat sera plus faible que dans le secteur des services (autres contraintes internes, rythmes d'utilisation jour/nuit etc.) et que la climatisation dans les maisons d'habitation se fera dans la grande majorité des cas de façon décentralisée, au moyen d'installations monobloc ou split (avec refroidissement à air ou à eau). Au total, il faut compter avec une augmentation de la consommation d'électricité d'environ 10% par rapport au scénario de référence (fig. 4).

Il sera possible de réduire le besoin supplémentaire attendu d'électricité pour la climatisation en intensifiant le recours à des concepts innovants tels que le „free cooling“ (restitution de la chaleur à l'air pendant la nuit), le „geocooling“ (restitution de la chaleur dans le sol, par les mêmes sondes géothermiques qui fournissent en hiver de la chaleur environnementale aux pompes à chaleur) ou la „climatisation solaire“.

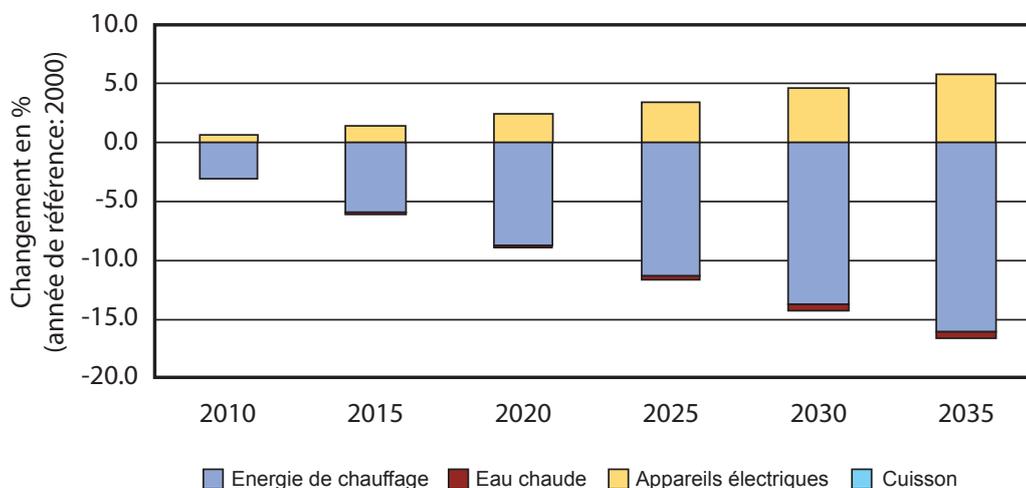


Figure 4: Evolution de la consommation d'énergie des ménages privés ventilée par utilisation, par rapport au scénario de référence. (Aujourd'hui: 75'000 GWh)⁵

3. Production établie d'électricité

Dans un proche avenir déjà, les besoins du pays en électricité ne pourront plus être couverts par la production indigène d'énergie. Les changements climatiques entraîneront une diminution de la production d'hydroélectricité. Sur l'arrière-plan des changements climatiques, la lacune d'approvisionnement devra être comblée en encourageant davantage les énergies renouvelables et les technologies destinées à améliorer l'efficacité énergétique et en mettant en service de nouvelles unités de production sans CO₂.

Situation de départ

La production suisse d'électricité est pratiquement sans émission de CO₂ grâce à ses deux principaux piliers, la force hydraulique et l'énergie nucléaire. La plus grande partie de l'électricité thermique conventionnelle provient d'usines d'incinération des ordures et d'installations chaleur-force industrielles.

La puissance nette des cinq centrales nucléaires s'élève à 3220 MW. Elles produisent environ 25'000 GWh d'électricité par an, ce qui correspond à peu près à 40% des besoins de la Suisse. Aux environs de 2020, les premières centrales nucléaires auront atteint la fin de leur durée d'exploitation. Les capacités de production de la Suisse seront ensuite en forte régression. Simultanément, les contrats d'importation de courant avec Electricité de France (EDF) arriveront l'un après l'autre à terme.

La consommation d'électricité devrait continuer de croître à l'avenir. Dans le passé, elle a progressé de 1.8% par centième d'augmentation du PIB. L'OFEN compte avec une croissance plus faible jusqu'en 2035, de 22.3% par rapport à 2003, si l'on poursuit la politique actuelle. En cas d'introduction d'une taxe sur le CO₂, cette croissance serait légèrement plus élevée (+23.2%), étant donné que l'amélioration escomptée de l'efficacité énergétique va de pair avec une consommation d'électricité plus élevée. Si la tendance linéaire se poursuit, la demande d'électricité en 2050 sera d'environ 33% supérieure à ce qu'elle était en 2003. L'Axpo⁶ obtient dans ses scénarios des valeurs un peu plus élevées (fig. 5). La fourchette des différents scénarios est révélatrice des incertitudes au sujet de la future demande d'électricité.

De 2020 jusqu'en 2030, les besoins du pays en électricité ne pourront plus être couverts par la production indigène d'électricité et les contrats d'importation existants. A partir de 2012, les importations de courant dépasseront régulièrement les exportations pendant le semestre d'hiver.

Changements climatiques

Les changements climatiques constituent un important facteur d'influence pour la produc-

tion d'électricité. La force hydraulique dépend fortement de l'offre en eau (précipitations et eau de fonte), elle-même directement influencée par les changements climatiques. L'énergie nucléaire est tributaire de quantités suffisantes d'eau de refroidissement.

Les énergies établies que sont la force hydraulique et le nucléaire seront influencées comme suit par les changements climatiques:

- A court terme, l'offre en eau à disposition de la force hydraulique sera plus grande en raison de la fonte des glaciers, ce qui permettra de produire davantage d'électricité en été. A long terme, l'offre en eau et la production diminueront en été. La baisse des précipitations et l'augmentation de l'évapotranspiration seront responsables en effet d'une diminution des débits.⁷ Celle-ci pourrait conduire d'ici 2050 à un recul moyen de 7% de la production hydroélectrique.⁸ Il faudra compter en outre avec une augmentation des crues sur le Plateau en conséquence des changements climatiques. Cette eau ne pourra pas être utilisée entièrement pour produire du courant. La perte de production hydroélectrique sera donc encore plus élevée, mais ne peut pas être quantifiée.
- Du fait que la température des cours d'eau sera plus élevée, le nucléaire disposera d'une moindre capacité en eau de refroidissement; sa production diminuera. En été 2003, la puissance du nucléaire a dû être réduite de 25% durant deux mois. Ceci représente une diminution de 4% de la quantité annuelle d'électricité. Les températures des cours d'eau continueront d'augmenter jusqu'en 2050 (cf. chapitre Economie des eaux), avec pour conséquence des restrictions de production.
- Avec les changements climatiques, l'incitation à moins recourir aux énergies fossiles se fera plus forte. Etant donné qu'ils ne produisent pas de CO₂, la force hydraulique, le nucléaire et les nouvelles énergies renouvelables ne contribuent pas aux changements climatiques et ne seront donc pas soumis à une éventuelle taxe d'incitation.

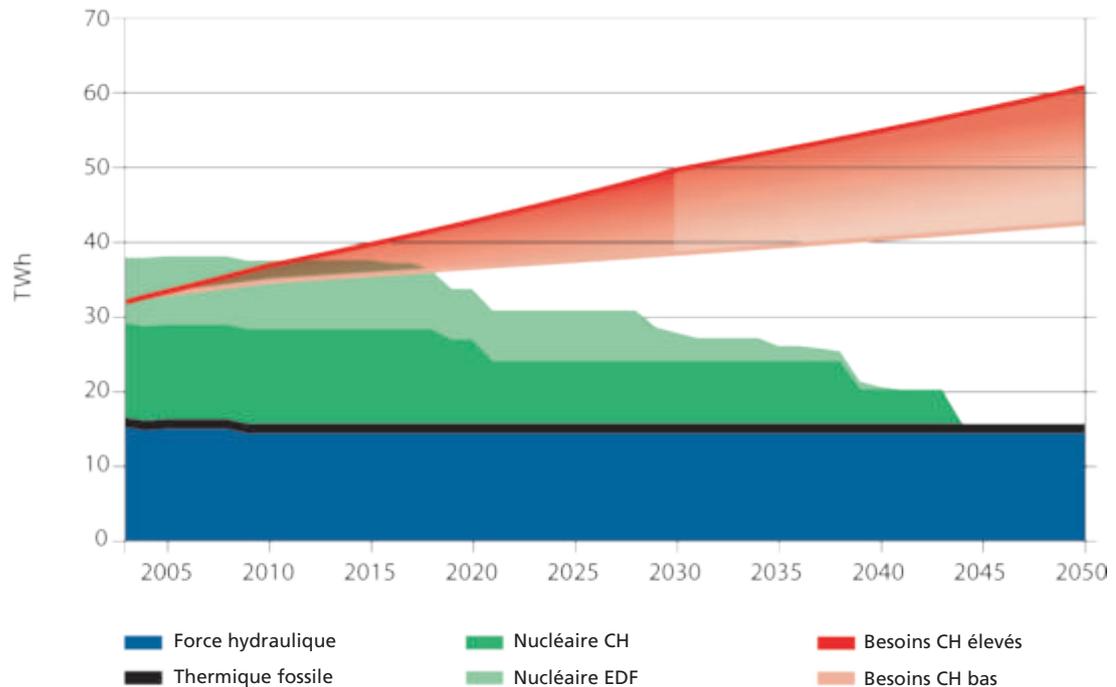


Figure 5: Capacité de production et consommation d'électricité en Suisse pendant le semestre d'hiver. Selon les prévisions, les besoins du pays en électricité ne pourront plus être couverts par la production indigène de courant et les contrats d'importation existants, ceci à partir de 2012 (scénario à forte demande d'électricité) à 2019 (scénario à faible demande).⁶ (1 TWh = 1000 GWh)

Mesures

La production d'électricité devrait rester sans émission de CO₂. Sur l'arrière-plan des changements climatiques, les mesures suivantes ont la priorité pour combler la lacune d'approvisionnement:

- Un encouragement plus vigoureux des énergies renouvelables et des technologies d'amélioration de l'efficacité énergétique ainsi que l'exploitation complète du potentiel d'économie d'électricité. En plus des efforts de recherche et développement, des installations pilotes seront nécessaires pour démontrer la faisabilité de ces technologies et acquérir de l'expérience. L'amélioration de l'efficacité énergétique tendra cependant à accroître la demande d'électricité.
- L'établissement de nouvelles capacités de production sans émission de CO₂. Une centrale combinée à gaz comme solution transitoire et une nouvelle centrale nucléaire comme solution à long terme ont été proposées récemment pour combler la lacune d'approvisionnement. Pour qu'il n'en résulte pas d'émissions nettes supplémentaires, des mesures complémentai-

res devront être prises (puits biologiques, captage et stockage de CO₂, marché des émissions). Les technologies de captage et stockage de CO₂ ne seront disponibles qu'à partir de 2030 ou plus tard. Le stockage est particulièrement critique: comme le stockage géologique profond des déchets nucléaires, il doit être effectué pour une longue durée et s'avère par conséquent un thème politique. Ceci vaut aussi bien pour le stockage en Suisse qu'à l'étranger.

- La Suisse décidera sur le plan politique et démocratiquement comment elle entend organiser son approvisionnement énergétique futur. La préparation d'une décision fondée implique de réunir de façon complète et objective toutes les données scientifiques (sciences naturelles, sociales et économiques) disponibles à cet égard. Les décisions relatives à la future production d'électricité influenceront sur le degré de dépendance internationale de l'approvisionnement énergétique suisse à l'égard des importations de gaz, électricité et autres. C'est pourquoi il faut viser à exploiter de façon aussi complète que possible les potentiels des énergies renouvelables indigènes.

4. Les nouvelles énergies renouvelables

Les impacts directs des changements climatiques sur l'établissement des énergies renouvelables sont taxés de neutres à légèrement positifs. Alors que la croissance de la biomasse est tendanciellement favorisée et que le rayonnement solaire incident augmente légèrement, les événements extrêmes ont un effet potentiellement négatif. Plus important que ces influences directes est le fait que la hausse des prix de l'énergie et les stratégies de protection du climat amélioreront les conditions cadres pour promouvoir et introduire les nouvelles énergies.

Comparée à la consommation actuelle, la part des nouvelles énergies renouvelables (nér) dans l'approvisionnement de la Suisse en électricité passera de 3% aujourd'hui à 10% (5500 GWh/a) en 2035.⁹ Il est possible qu'elle augmente encore jusqu'en 2050. Ces 10% incluent pour l'essentiel de grandes parties des potentiels pour de petites installations hydroélectriques et éoliennes, des contributions substantielles de la biomasse et de la géothermie et un apport relativement modeste du photovoltaïque. Le potentiel des nér sera limité par des prix de production élevés.

Les changements climatiques augmenteront les chances des nér. Le besoin croissant en énergie et les mesures (décidées ou anticipées) de limitation des émissions de gaz à effet de serre feront augmenter la demande d'énergie neutre du point de vue CO₂. Simultanément, le besoin de subventions diminuera si les prix de l'énergie sont plus élevés. A subventions égales, on peut compter avec une accélération de la pénétration du marché.

La production des nér subira l'influence de facteurs environnementaux à plusieurs échelles de temps. L'efficacité des formes d'énergie renouvelable dépend entre autres de la météo et du climat et est compromise par la variabilité du climat et des événements extrêmes. Le scénario climatique utilisé ici indique un déplacement des valeurs moyennes et ne fait pas de prévisions sur les changements de la variabilité. Il existe des indices selon lesquels la variabilité de la température sera un peu renforcée en été et atténuée en hiver.

Les variations climatiques pourraient aussi être prises en compte dans la planification à moyen terme de la production des nér. Une approche possible serait de modéliser toute la chaîne, des conditions cadres climatiques comme données de départ jusqu'à la production d'énergie.

Energie éolienne Potentiel

La Suisse détient aujourd'hui environ 5.4 MW¹ d'énergie éolienne installée et produit en gros 5.4 GWh/a d'électricité éolienne. Ceci correspond à peine à 0.01% de la production indigène totale

d'électricité en 2003. Même avec quelque 15 GWh de courant photovoltaïque injecté dans le réseau électrique, la part des nouvelles énergies renouvelables est pour l'heure minime.

Le potentiel éolien de la Suisse est limité. Accroître la production d'électricité éolienne à 600 GWh/a est possible d'ici 2035. L'équipement complet de tous les sites se prêtant à des parcs éoliens permettrait d'épuiser d'ici 2050 le potentiel total de 1150 GWh/a. Comparée à la production d'électricité de 2003, la part de la force éolienne serait de 1.8%. Le potentiel pour des installations isolées s'élève à 2850 GWh/a supplémentaires.⁹

Les possibilités techniques générales d'intégration de l'énergie éolienne dans le réseau électrique incluent la détention de capacités de réserve, la déconnexion des apports éoliens excédentaires et l'accumulation. En Suisse, l'énergie éolienne peut être intégrée sans problème dans le réseau électrique, même dans l'hypothèse d'une exploitation complète du potentiel. Elle aurait pas d'incidence sur la stabilité du réseau, même dans le cas où les sites seraient complètement équipés. Les fluctuations à court terme de l'offre d'électricité éolienne peuvent être aisément absorbées par la force hydraulique. De nouvelles technologies, telles que l'hydrogène, amélioreront encore à l'avenir les possibilités de compensation.

Changements climatiques

L'influence des changements climatiques sur les vitesses moyennes des vents en Suisse est mal connue. Ils entraîneront éventuellement un changement de ces vitesses et une augmentation des événements extrêmes. L'un et l'autre auraient une influence sur la production d'énergie éolienne. La vitesse moyenne du vent exerce un effet direct sur la puissance électrique de sortie: une augmentation de la vitesse moyenne du vent permet d'attendre une production plus élevée d'électricité éolienne. Des événements extrêmes peuvent être à l'origine d'arrêts de production dans certains sites. Mais une panne généralisée de toutes les installations éoliennes est statistiquement improbable.

Mesures

En Suisse, les impacts des changements climatiques sur l'exploitation de la force éolienne sont plutôt indirects. Le véritable défi réside dans le développement accéléré de la force éolienne dans les pays limitrophes.

Les mesures suivantes contribuent à une intégration optimale de l'énergie éolienne:

- L'amélioration des prévisions des vents en même temps que des délais d'avertissement plus courts relatifs au tableau de marche, pour permettre à l'exploitant du réseau de connaître à l'avance, à des fins de planification, la production électrique attendue. Plus les délais d'avertissement sont courts, plus précises sont les prévisions de la production éolienne attendue.
- De meilleures bases de planification pour tenir compte des aspects environnementaux, en particulier de la protection de la nature et du paysage.
- Des regroupements de réseaux – plus un réseau est grand, plus faible est le besoin de capacités de réserves, c'est-à-dire de capacités de production conventionnelles, prêtes à compenser à court terme une baisse de production éolienne, due à des conditions éoliennes défavorables.
- Des marchés transparents, interconnectés et performants, permettent d'abaisser substantiellement les coûts d'intégration de la force éolienne. A cet égard, une libéralisation du marché de l'électricité peut être utile si elle

permet à la fois d'assurer l'alimentation et d'équilibrer la charge dans une zone de desserte aussi grande que possible.

Biomasse: énergie du bois Potentiel

Le potentiel écologique total de la biomasse s'est élevé en 2001 à 34'000 GWh.⁹ Les forêts, les haies et les arbres fruitiers en fournissent la partie principale de 12'800 GWh (fig. 6). Le potentiel écologique de la biomasse permettrait d'augmenter sensiblement la production d'électricité. On peut s'attendre à des augmentations de la quantité de biomasse se prêtant à une utilisation énergétique, et les progrès technologiques permettront en outre d'accroître le rendement de conversion en électricité d'un facteur 2 à 3.

En 2004, 2,8 millions de m³ de bois ont été utilisés en Suisse, avant tout pour le chauffage. Le nombre d'installations automatiques de chauffage au bois notamment a beaucoup augmenté au cours de la décennie passée. Le potentiel énergétique du bois permettrait de doubler au moins l'utilisation de ce combustible par rapport à aujourd'hui à plus de 5 millions de m³, à condition que des progrès soient réalisés en matière de réduction des émissions de poussière fine.¹⁰ Les tendances à long terme de l'économie forestière (espèces d'arbres adaptées aux sites, gestion écologique différenciée des forêts, entretien extensif des forêts, récolte mécanisée régionale) ainsi que des développements de l'économie du bois (augmentation de la capacité de sciage) tripleront ce potentiel.

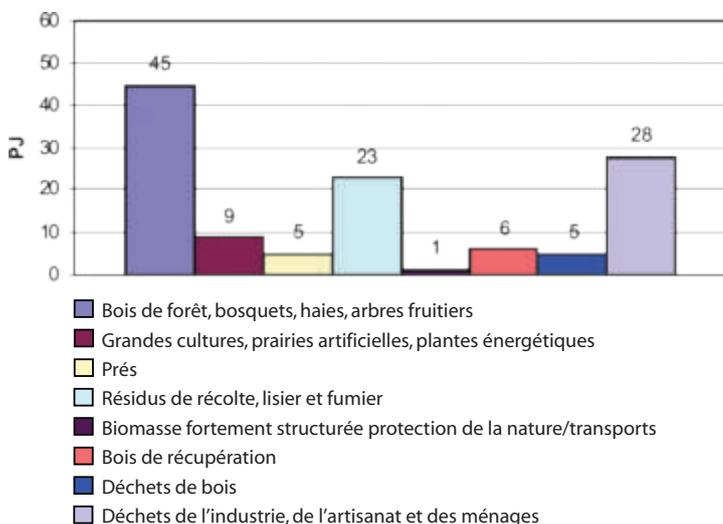


Figure 6: Potentiel écologique de la biomasse en 2001, ventilé par sources.⁹
(1 PJ = 278 GWh)

Toutefois, la concurrence avec d'autres valorisations (matériaux de construction) augmentera. L'offre et la demande détermineront le prix et donc aussi l'utilisation que l'on fera du bois.

Impacts des changements climatiques

Les changements climatiques auront des impacts en majorité positifs sur l'exploitation de l'énergie du bois. D'une part, les forêts s'étendront davantage (cf. le chapitre sur les écosystèmes) et le potentiel de l'énergie du bois croîtra. D'autre part, les énergies renouvelables et les mesures visant à accroître l'efficacité énergétique jouiront d'une acceptation grandissante en réaction aux changements climatiques et sous l'impul-

sion de la politique climatique. Les milieux politiques, l'Administration et l'économie se montreront toujours mieux disposées à encourager par des mesures l'utilisation de l'énergie du bois.

Les changements climatiques et le recours accru à l'énergie du bois auront des conséquences pour les forêts. L'aspect de la forêt changera. Au total, il n'y aura pas plus de bois dans les forêts, mais la proportion de bois d'énergie et de bois de qualité mineure grandira. Une éventuelle multiplication d'événements extrêmes, tels que par exemple la tempête d'hiver Lothar en décembre 1999, impliquera de grosses pertes de biomasse et des exploitations forcées.

Prévisions climatiques à court terme

Des conditions climatiques exceptionnelles, telles que la canicule et la sécheresse de l'été 2003 ou que les hivers froids des années 1960, influent sur la production et consommation d'énergie déjà dans le climat actuel. Depuis quelque temps, ces fluctuations climatiques font l'objet de tentatives de prévisions au moyen de modèles numériques du climat. Cependant, le système climatique a, tout comme les processus météorologiques, des propriétés chaotiques, et les prévisions réagissent de façon extrêmement sensible à de petites incertitudes des conditions initiales. Des méthodes récemment développées de prévisions des probabilités tiennent compte de cette sensibilité en

calculant non pas une seule, mais de nombreuses prévisions à partir de conditions initiales légèrement différentes. Cet ensemble de prévisions permet ensuite de calculer p.ex. la probabilité d'un mois de janvier froid ou d'un été torride (fig. 7). Pour l'heure, de telles prévisions climatiques à court terme doivent être interprétées et utilisées avec prudence; leur qualité varie selon la région du globe et surtout selon l'échéance souhaitée de la prévision. Mais ces données probabilistes permettent de prévoir le temps auquel il faut s'attendre plus d'une semaine à l'avance et offrent ainsi au secteur professionnel, comme à celui du management, d'intéressantes possibilités de planification.^{11,12}

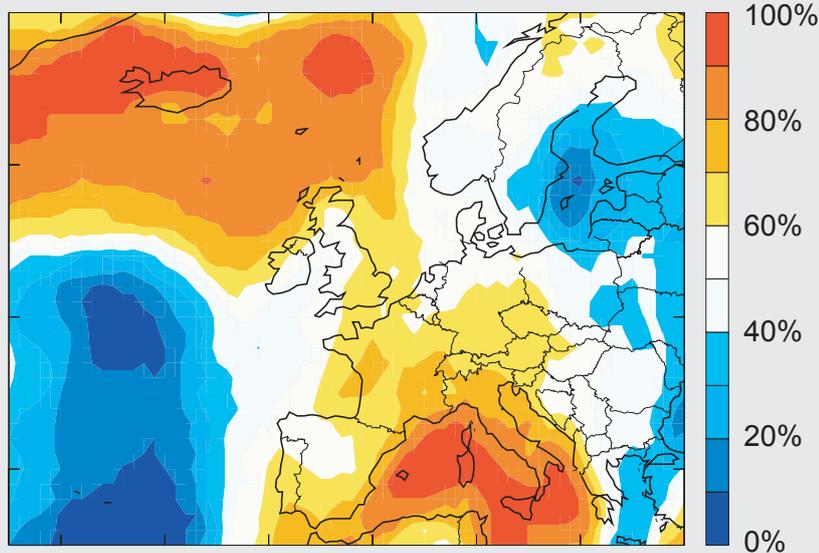


Figure 7: Probabilité que les températures de l'été 2003 se situent au-dessus de la moyenne climatologique: prévision du 1er mai 2003.

5. Aspects économiques

Il existe un large consensus selon lequel la raréfaction des ressources pétrolières et les changements climatiques entraîneront une hausse des prix de l'énergie. Cette tendance induira une baisse de l'importance de l'énergie dans le produit social brut et une atténuation de la croissance de la consommation globale d'énergie. Des mesures d'adaptation appropriées dans le secteur énergétique ne limiteront pas seulement le coût des dommages, mais réduiront aussi celui du système énergétique lui-même, si bien que dans un cas favorable, il en résultera de véritables synergies entre adaptation et réduction.

Evolution des prix de l'énergie

Les prix de l'énergie ne reviendront pas au bas niveau de la période 1985-2000 et pourraient continuer de croître à moyen et long terme en raison de distorsions politiques. Les développements suivants y contribueront :

- La demande globale en énergie croît fortement. L'AIE compte avec une hausse de la demande de 50% jusqu'en 2030.¹³ 60% de cette hausse devrait être couverts par le pétrole et le gaz naturel.
- En Suisse aussi, la demande en services énergétiques continuera de croître (cf. paragraphe 3). En même temps, les changements climatiques conduiront à un déplacement de l'énergie de chauffage (combustibles) en hiver vers l'énergie nécessaire à la climatisation (électricité) en été (cf. paragraphe 2). Selon le scénario considéré, la demande accrue peut être couverte avec moins d'énergie finale, mais la part de l'électricité augmente dans les stratégies d'efficacité.
- La production énergétique par la force hydraulique et le nucléaire diminuera à coûts fixes constants en été en Suisse du fait des changements climatiques.
- Les changements climatiques accroissent la variabilité du cycle de l'eau. Davantage d'événements extrêmes conduiront à des arrêts d'exploitation et dommages plus nombreux. Des exemples en sont la crue d'août 2005, qui a entraîné des arrêts de centrales au fil de l'eau, ou bien les températures élevées de

l'eau en été 2006, qui ont impliqué une réduction de la production énergétique des centrales nucléaires.

Un important facteur d'influence sur l'évolution des prix de l'énergie est la question de savoir si les coûts externes des émissions de CO₂ sont internalisés dans une perspective de durabilité (p.ex. par des certificats, des taxes d'incitation, des mesures d'encouragement). L'évolution à long terme de la législation sur le CO₂ est entachée de grandes incertitudes. Celles-ci dépendent d'une part des prix du pétrole, du gaz et de l'électricité. Il est permis de supposer que des prix élevés de l'énergie entraîneront une baisse des coûts imposés au CO₂ par la politique, vu que le prix des énergies fossiles en serait encore accru. D'autre part, les coûts du CO₂ dépendent fortement du fait de savoir si à l'échelon global, tous les Etats participent aux conventions de protection du climat dans le sens du Protocole de Kyoto. Si des Etats importants se tiennent à l'écart à l'avenir, il s'ensuivra un déplacement géographique de la production énergétique. Dans l'ensemble, la hausse des prix de l'énergie aura pour effet de modérer la consommation de cette dernière. Des considérations ayant trait à l'efficacité énergétique favoriseront l'électricité. Les énergies neutres du point de vue des émissions de CO₂ (nouvelles énergies renouvelables et nucléaire) deviendront plus attractives. De façon générale, les changements climatiques conduiront à davantage d'incertitudes, ce qui privilégiera les systèmes à court délai de retour de l'investissement.

Modélisation des mesures d'adaptation et d'évitement dans l'optique de l'économie

Suite aux changements climatiques, la part du produit social brut disponible pour la consommation diminuera pour les raisons suivantes:

- la réparation des dommages causés par les changements climatiques incombera à l'économie nationale;
- il faudra prendre des mesures de prévention des dommages et les financer;
- les mesures de protection du climat visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre causeront des dépenses supplémentaires.

Au niveau économique, les deux premiers points entrent dans le cadre des coûts d'adaptation, le troisième ensemble de mesures correspond aux coûts de réduction. Pour arriver à une stratégie à long terme optimale, les futurs coûts et bénéfices des changements climatiques devront être évalués

et comparés. A cette fin, la consommation future et les pertes de prospérité font l'objet d'une minoration de l'ordre de 1.5 à 5% selon l'horizon temporel considéré. Cette manière réaliste d'aborder les perspectives économiques a l'avantage de mettre en relief un mode optimal de comportement de la communauté mondiale des Etats: le laisser-aller autant que l'excès de mesures coûtent plus qu'une politique de protection du climat définie de manière à maximaliser la prospérité à long terme.

Il ressort de ce genre d'analyses qu'une politique du climat bien ciblée est payante au niveau économique, qu'elle permet de minimiser les pertes de prospérité et de maintenir leur ordre de grandeur à moins de 2% de l'évolution de référence sans changements climatiques, et qu'enfin la part des dépenses pour l'énergie dans le produit social brut diminue légèrement en conséquence des mesures de protection du climat.

Bibliographie et notes

- 1 GWh/a = gigawattheures par an. 1 GWh = 1 milliard de kWh. 1 pétajoule (PJ) = 278 GWh. MW = mégawatt (puissance).
- 2 Bundesamt für Energie BFE. Energieperspektiven 2035. Bern, 2007.
- 3 Road map Erneuerbare Energien Schweiz – Eine Analyse zur Erschliessung der Potenziale bis 2050. SATW-Bericht Nr. 39. Schweiz. Akademie der Technischen Wissenschaften SATW, 2007.
- 4 B. Aebischer, G. Catenazzi. Energieverbrauch der Dienstleistungen und der Landwirtschaft. Ergebnisse der Szenarien I bis IV. Bundesamt für Energie, Bern, 2007.
- 5 P. Hofer. Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte 1990–2035. Ergebnisse der Szenarien I a Trend und I b Trend und der Sensitivitäten Preise hoch, BIP hoch und Klima wärmer. Bundesamt für Energie, Bern, 2007.
- 6 Axpo. Stromperspektiven 2020. 2005.
- 7 P. Horton, B. Schaepli, A. Mezghani, B. Hingray, and A. Musy. Prediction of climate change impacts on Alpine discharge regimes under A2 and B2 SRES emission scenarios for two future time periods. Bundesamt für Energie, Bern, 2005.
- 8 M. Piot. Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftproduktion in der Schweiz. Wasser, Energie, Luft, 2005.
- 9 S. Hirschberg, C. Bauer, P. Burgherr, S. Biollaz, W. Durisch, K. Foskolos, P. Hardegger, A. Meier, W. Schenler, T. Schulz, S. Stucki und F. Vogel. Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen. Neue erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen: Potenziale und Kosten. PSI-Bericht Nr. 05-04, Villigen, 2005.
- 10 Avec 2.5 Mio m³ de bois supplémentaires il est possible de chauffer environ 1 Mio d'appartements efficients en énergie et ainsi de remplacer environ 0.5 Mio t de mazout.
- 11 C. Appenzeller, P. Eckert. Towards a seasonal climate forecast product for weather risk and energy management purposes. ECMWF Report, Seasonal forecasting user meeting 2000, 2001, 40–44.
- 12 M. A. Liniger, W. A. Müller, C. Appenzeller. Saisonale Vorhersagen. Jahresbericht der MeteoSchweiz 2003.
- 13 IEA, World Energy Outlook 2004. (<http://www.worldenergyoutlook.org>).

