

STRATÉGIE ÉNERGETIQUE CLEANTECH

Impressum

Auteurs

Rita Bolliger
Dr. Christian Zeyer

Layout

Darja Unold

Novembre 2014

swisscleantech

Thunstrasse 82
Postfach 1009
3000 Bern 6

swisscleantech.ch

[@swisscleantech](https://twitter.com/swisscleantech)
[youtube.com/swisscleantech](https://www.youtube.com/swisscleantech)

SOMMAIRE

1.	<i>ENERGIE – PRENDRE LE TOURNANT, S'IL VOUS PLAÎT</i>	5
2.	<i>SITUATION INITIALE ET DÉFIS</i>	8
3.	<i>PRINCIPES ET OBJECTIFS</i>	10
4.	<i>STRATÉGIE: LES QUATRE NOUVEAUX PILIERS</i>	13
5.	<i>LE MODÈLE ÉNERGÉTIQUE CLEANTECH</i>	15
6.	<i>EVOLUTION DE LA DEMANDE ET EFFICIENCE ÉNERGÉTIQUE</i>	16
7.	<i>OFFRE D'ÉNERGIE DE GRANDE QUALITÉ</i>	20
8.	<i>DISTRIBUTION ET STOCKAGE INTELLIGENTS</i>	34
9.	<i>ECONOMIE CONCURRENTIELLE</i>	41
10.	<i>CONSOMMATION DE RESSOURCES</i>	46
11.	<i>CONCLUSIONS</i>	48

1. ENERGIE – PRENDRE LE TOURNANT, S'IL VOUS PLAÎT!

Fin 2010, avec des experts, des entreprises adhérentes et des représentants d'associations du secteur de l'énergie, swisscleantech a décidé d'élaborer sa position sur la politique énergétique. Les paramètres fondamentaux ont été présentés le 9 mars 2011, deux jours avant l'accident de Fukushima. Ils ont servi de base pour l'élaboration d'une stratégie énergétique du point de vue Cleantech.

Le 6 juin, swisscleantech a rendu publique la première version de la [Stratégie énergétique](#). Peu après, le Conseil national et le Conseil des Etats ont emboîté le pas au Conseil fédéral et décidé de la sortie progressive de l'énergie nucléaire, principalement pour des motifs économiques. A ce moment-là, swisscleantech était le seul acteur, aux côtés de la Confédération (Prognos), à pouvoir présenter son propre modèle, qui ne se contente pas de décrire comment seront couverts les besoins d'électricité, mais qui expose aussi un tableau exhaustif des besoins énergétiques et de leur couverture jusqu'en 2050. Depuis, ce modèle n'a cessé d'être affiné et vérifié et a passé avec succès l'examen de diligence raisonnable auquel l'a soumis le cabinet Ernst&Young. De même, le CER de l'EPFZ a calculé les conséquences de la Stratégie énergétique Cleantech pour l'économie suisse.¹

Depuis, avec sa Stratégie énergétique, swisscleantech apporte une contribution éclairée, soutenue par l'économie, au débat sur le tournant énergétique. L'objectif est d'amorcer [le tournant énergétique de manière résolue et économiquement avantageuse](#). Pour ce faire, swisscleantech mise sur des approches suivant le plus possible la logique du marché, avec des prix justes, ainsi que sur un système d'incitation complet en matière climatique et énergétique à partir de 2021. Cela passe par une sortie programmée du nucléaire et de l'énergie fossile, ainsi que par [une entrée programmée dans une stratégie énergétique privilégiant l'efficacité, les énergies renouvelables et les réseaux intelligents](#).

«Dialogue nouvelle politique énergétique», qui repose sur de larges bases, a confirmé en août 2013 que le tournant énergétique était techniquement réalisable. Concernant la rentabilité économique, swisscleantech a montré que dans le pire des cas, le résultat serait nul, mais qu'en tenant compte de tous les coûts, des avantages économiques sont à attendre.

Nos membres des branches les plus diverses apportent quotidiennement la preuve qu'il existe, aujourd'hui déjà, des solutions pour un avenir énergétique durable. Il ne s'agit plus de se demander si nous pouvons parvenir à assurer un approvisionnement durable en énergie. Il s'agit d'avoir la volonté politique de le faire et d'élaborer une solution économiquement intéressante et acceptable par une majorité.

L'adoption rapide du premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 par le Parlement ainsi que les préparatifs et la mise en œuvre d'un système d'incitation en matière climatique et énergétique à partir de 2021 sont primordiaux. L'introduction d'une taxe sur l'électricité issue de sources fossiles et nucléaires, produite en Suisse et à l'étranger («taxe sur le courant sale») doit être examinée en guise d'étape intermédiaire. Parallèlement, il s'agit d'œuvrer en faveur de la signature d'un traité sur l'électricité avec l'UE et de la deuxième étape d'ouverture du marché, sans oublier la conduite active d'un dialogue sur une conception d'avenir du marché de l'électricité au niveau européen.

¹ Cf. «Schweizer Energie- und Stromstudien im Vergleich (2013)»
http://www.swisscleantech.ch/fileadmin/content/CES/SCA_POL_Vergleich_2013_vo6.pdf

VERSION 4.0

Depuis la première version de l'année 2011, la [Stratégie énergétique Cleantech](#) et le [modèle énergétique Cleantech](#) font l'objet d'un remaniement permanent. Des [groupes thématiques](#) permettent de discuter régulièrement des aspects et résultats pertinents avec des représentants de l'industrie, de la science et de l'administration. La mobilité, la production d'électricité et sa répartition, l'énergie dans l'industrie ainsi que la technique des bâtiments sont au centre des débats. Le modèle énergétique Cleantech offre aujourd'hui la possibilité d'examiner les scénarios les plus variés et d'en tirer des conclusions relativement vite, afin d'identifier les impulsions qui sont judicieuses et celles qui ne le sont pas.

Pour la version actuelle de la Stratégie énergétique, le chapitre consacré au marché de l'électricité a été entièrement remanié. Les résultats présentés sont basés sur de vastes simulations portant sur la fonction du marché de l'électricité. swisscleantech a ainsi été en mesure de prédire certaines évolutions, comme la chute des prix de l'électricité, et de les expliquer. Une représentation détaillée de ce thème se trouve dans le papier de fond à part ([«Die Zukunft des Strommarktdesigns»](#)).

La question de savoir si les ressources matérielles nécessaires au tournant énergétique sont disponibles reste peu discutée à ce jour. Cette question se pose surtout si le tournant énergétique est mis en œuvre dans le monde entier. L'équipe responsable des ressources chez swisscleantech s'est intensément intéressée à ce thème. Un résumé des résultats de ce travail se trouve au chapitre 10.

La Stratégie énergétique Cleantech est un résumé des travaux que swisscleantech encourage depuis 2011 dans le domaine de l'énergie. Les papiers de fond suivants sont en outre disponibles à des fins d'approfondissement:

[Hintergrundbericht Photovoltaik](#)
décembre 2012

[Schweizer Energie- und Stromstudien im Vergleich](#)
janvier 2013

[Fact Sheet Übertragbare KKW Restlaufzeiten](#)
août 2013

[Strommarkt, Strompreis und erneuerbare Energien](#)
décembre 2014

[Konzept für eine Graustromstromabgabe](#)
janvier 2015

[Ressourcen für die Energiewende, in Vorbereitung](#)
en cours de préparation, disponible à partir de décembre 2014

[Quotenmodell, in Vorbereitung](#)
en cours de préparation, disponible à partir de janvier 2015

Ces publications sont disponibles sous le lien suivant:
www.swisscleantech.ch/startseite/politik/klima-energie/

LES POINTS ESSENTIELS

La Stratégie énergétique Cleantech ...

- ... est une stratégie énergétique globale, qui ouvre une voie techniquement réalisable et économiquement séduisante pour une transformation ordonnée du système énergétique, qui englobe la sortie de l'énergie nucléaire, la réduction de l'utilisation des sources d'énergie fossile et l'entrée dans une utilisation à large échelle des énergies renouvelables.*
- ... privilégie l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables et les réseaux intelligents.*
- ... est axée sur des priorités claires jusqu'en 2050, fixant des objectifs climatiques.*
- ... mise sur un marché de l'énergie décentralisé, libéralisé et international.*
- ... utilise l'approche des coûts globaux pour tous les types d'énergie.*
- ... s'appuie sur le modèle énergétique Cleantech et sur le savoir élaboré au sein des groupes thématiques de swisscleantech.*
- ... prend en compte le prix et la qualité de l'énergie comme critères de décision.*
- ... propose un paquet de mesures qu'il est possible de mettre en œuvre à court terme et qui produira des effets positifs à long terme.*
- ... se préoccupe avant tout des opportunités économiques qu'offre le marché local et les exportations aux produits et aux prestations de services suisses.*
- ... prévoit qu'à compter de 2021, les instruments d'encouragement requis seront mis en œuvre grâce à un système d'incitation complet en matière climatique et énergétique.*

2. SITUATION INITIALE ET DÉFIS

Une stratégie énergétique globale est nécessaire

Les questions relatives à l'électricité, à l'énergie, au climat, à la sécurité et à l'économie sont étroitement liées. La production d'électricité suisse dépend de nombreux facteurs, tels que la croissance de l'économie et de la population, le comportement des consommateurs, les évolutions technologiques, la dépendance vis-à-vis de l'étranger, la qualité des infrastructures du réseau et l'intégration de la Suisse dans le marché international de l'électricité. Une stratégie énergétique globale, sous la forme d'un judicieux paquet d'objectifs et de mesures, est nécessaire. De ce point de vue, les chances économiques de la Suisse, ainsi que les objectifs climatiques internationalement reconnus, figurent au premier rang des préoccupations de swisscleantech.

Un besoin d'action incontestable

Les faiblesses de notre production et de notre approvisionnement actuels en énergie sont multiples. Elles se manifestent, par exemple, par la raréfaction imminente du pétrole facilement disponible, par les marées noires, notamment dans le golfe du Mexique en 2011. Le changement climatique, l'un des plus grands défis que l'économie et la société doivent relever, est en lien direct avec les ressources fossiles. Si nous voulons réaliser l'objectif de 2 degrés, il sera nécessaire de laisser au moins deux tiers des ressources fossiles connues à ce jour dans notre sol, sans les utiliser.²

Les variations de prix importantes, avec une tendance ininterrompue à la hausse, montrent à quel point l'économie est menacée par l'instabilité politique dans les pays producteurs. Les événements de ces dernières années en Afrique du Nord, au Moyen-Orient et en Russie confirment qu'il est clairement nécessaire d'agir. L'accident de Fukushima s'est produit il y a trois ans et il est de plus en plus évident que l'énergie nucléaire n'est pas non plus une solution pour répondre aux défis dans le domaine énergétique.

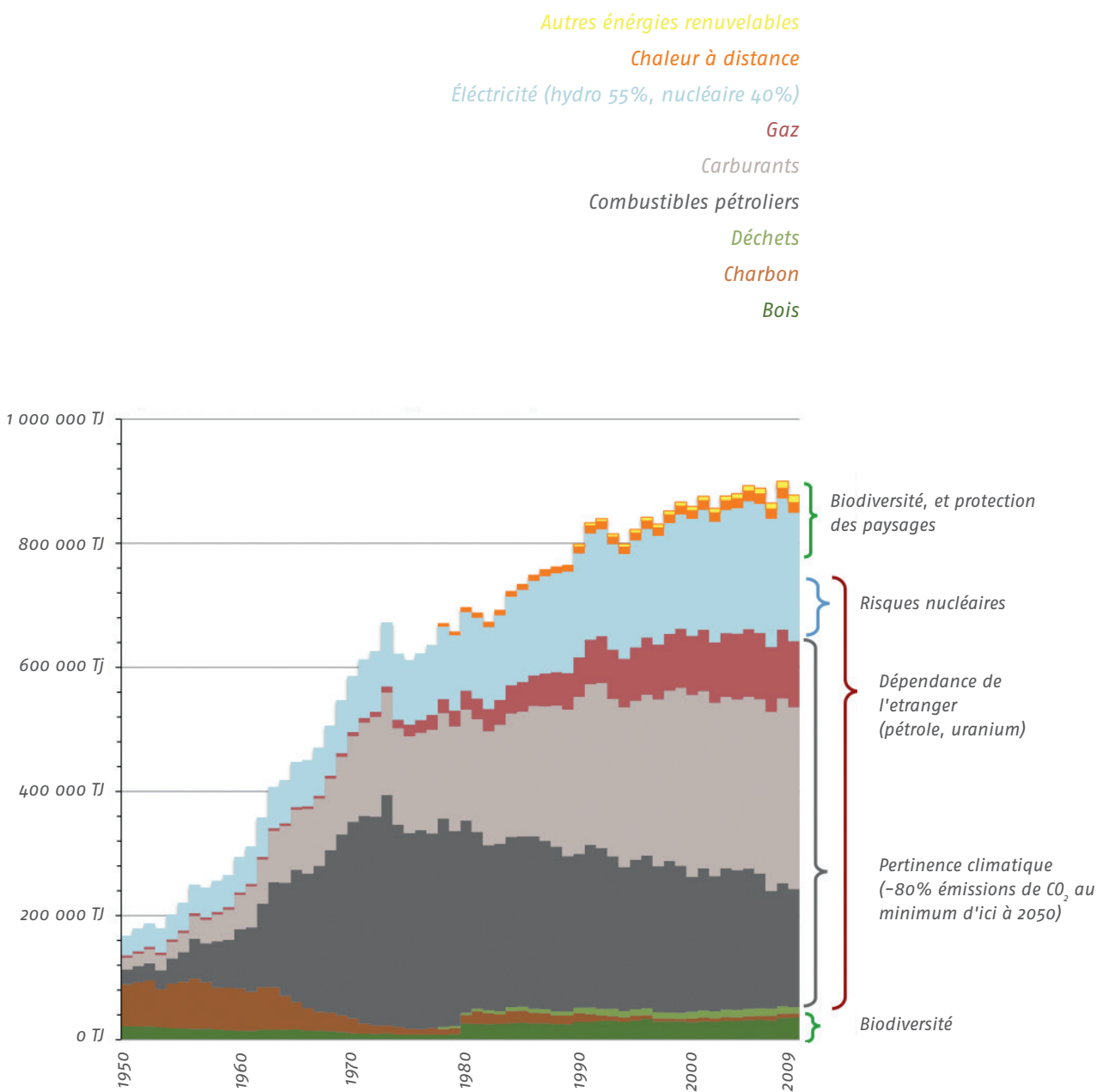
La Suisse doit, dès maintenant, s'engager dans la voie de l'efficacité énergétique, des énergies renouvelables et des réseaux intelligents dans l'intérêt d'une économie durable, indépendante et concurrentielle.

Les défis sont multiples

Une stratégie énergétique globale pour la Suisse est complexe et dépend des hypothèses et des mesures les plus diverses. L'opinion largement répandue selon laquelle le pays est menacé par une pénurie d'électricité (qui entraînera nécessairement la construction de nouvelles centrales nucléaires ou de nouvelles centrales à cycle combiné au gaz naturel) est à courte vue et ne sert pas l'économie suisse. De plus, ce débat sur les pénuries concentre toute l'attention sur la production de courant. Ce faisant, on ignore que nous nous procurons actuellement environ 70% de l'ensemble de notre énergie sous forme de combustibles fossiles à l'étranger et que la Suisse ne dispose pas non plus d'uranium parmi ses matières premières. Les défis de l'approvisionnement actuel en énergie sont multiples (voir figure 1) et exigent que nous prenions un tournant, en adoptant une stratégie énergétique exhaustive et adaptée à son époque. Nous n'avons pas d'autre solution.

² IEA, World Energy Outlook (2012): «No more than one-third of proven reserves of fossil fuels can be consumed prior to 2050 if the world is to achieve the 2 °C goal.»

Figure 1
 Consommation finale en Suisse entre 1950 und 2009



Source: OFEN et FFGS

3. PRINCIPES ET OBJECTIFS

Il est aujourd'hui incontestable que nous avons besoin d'agir dans le domaine de la politique énergétique. Il est ainsi de plus en plus largement admis qu'un tournant énergétique s'impose pour le bénéfice de tous. Au cours des années et des décennies à venir, nous devons impérativement déployer des efforts décisifs dans l'intérêt de l'économie et de la société. Cette réorientation s'accompagne d'une certaine marge de manœuvre mais requiert une définition claire des objectifs. C'est pourquoi swisscleantech a défini les principes et les objectifs d'un avenir compétitif et durable pour l'approvisionnement énergétique de la Suisse et précise la manière dont ces objectifs pourront être atteints.

Prise en compte résolue des réalités des coûts et des risques, pour toutes les formes d'énergie

Les coûts réels des différentes sources d'énergie (prise en compte des coûts globaux) sont décisifs pour l'approvisionnement combiné en énergie. Ils comprennent les coûts des émissions de CO₂, les subventions, l'assurance, la démolition, l'élimination, l'arrêt, la biodiversité, la santé et les risques géopolitiques qui influent sur la disponibilité. Par exemple, s'agissant de la dépendance vis-à-vis de l'étranger, il convient de faire la différence, pour les «importations», entre pétrole libyen (risque géopolitique élevé) et courant éolien allemand (risque géopolitique faible).

Dès lors que les coûts globaux sont intégrés dans le prix et dans les conditions-cadres, la sécurité de la planification est assurée et le marché peut trouver une solution de mise en œuvre durable. Grâce à l'incitation par les prix, l'économie bénéficie d'une stimulation permanente, transparente et efficace pour les investissements, et le jeu de la concurrence lui permet d'élaborer les solutions les plus novatrices.

Sécurité de l'approvisionnement, compétitivité, création de valeur ajoutée au niveau local

Un approvisionnement intelligent, décentralisé et garanti, à des prix transparents et prévisibles, est décisif pour l'économie. De plus, pour évaluer une nouvelle stratégie énergétique, il faut toujours considérer, outre les coûts de mise en œuvre, les opportunités économiques d'une nouvelle politique énergétique. Si l'on déploie des efforts dans le domaine de l'efficacité et des énergies renouvelables, la création de valeur ajoutée ne se fera plus à l'étranger, mais chez nous. Grâce à des mesures nationales, un marché intérieur fort accroît la compétitivité sur les marchés d'exportation internationaux Cleantech, qui connaissent une croissance rapide.

Dans l'ensemble, la sécurité de l'approvisionnement doit augmenter. La production décentralisée et un réseau intelligent sont ici des piliers essentiels qui tous deux aident à réduire la dépendance face aux ressources incertaines et à minimiser les risques en matière d'approvisionnement résultant d'un nombre restreint de producteurs centraux.

Dans le même temps, une réglementation spéciale pourrait soulager les secteurs gros consommateurs d'énergie qui exportent ou dont les produits sont concurrencés par les importations. Ces derniers ne représentent toutefois qu'à peine 2,5% de l'emploi et 5,2% de la consommation d'énergie en Suisse (voir chapitre 9.3) et ne doivent donc pas servir de prétexte pour n'amorcer le tournant énergétique que timidement.

La qualité de l'énergie, principal critère de décision pour le site économique suisse

Une stratégie énergétique ne peut pas avoir pour objectif de mettre à disposition la plus grande quantité d'énergie au prix le moins cher possible, surtout pas pour le site économique de qualité qu'est la Suisse. Au contraire, en plus du prix, la qualité de l'énergie doit être intégrée comme critère de décision. Une énergie de grande qualité n'engendre pas d'émissions nuisibles, se caractérise par un risque faible et est disponible localement. Elle permet une offre de produits et de services à faible empreinte écologique. swisscleantech est convaincu qu'il s'agit ici d'un facteur concurrentiel de plus en plus important. Une tarification intégrant les coûts externes illustre cet aspect qualitatif et fait en sorte que des formes d'énergie de qualité supérieure aient un avantage sur le marché.

La crédibilité de la Suisse comme précurseur Cleantech

La Suisse est l'un des pays du monde les plus concurrentiels, les plus novateurs et les plus riches. Cependant, nous sommes également un pays caractérisé par un marché restreint, qui pratique des prix élevés. Pour pouvoir exister face à la concurrence internationale à court et à long terme, l'économie suisse doit se démarquer grâce à l'innovation. Comme le prévoit également le Masterplan Cleantech de la Confédération³, l'efficacité des ressources constitue une source d'innovation très intéressante. Le positionnement économique de la Suisse en tant que précurseur Cleantech doit donc aussi figurer au premier plan dans la stratégie énergétique. La Suisse est extrêmement bien placée pour assumer ce rôle de précurseur Cleantech dans le domaine de l'énergie. Une politique énergétique privilégiant l'efficacité énergétique, les énergies renouvelables et les réseaux intelligents soutient cette orientation. Elle sied parfaitement à une Suisse moderne, propre et sûre.

Centrage sur les objectifs climatiques

C'est à la politique énergétique de se centrer sur les objectifs climatiques et non pas l'inverse. En la matière, aucun compromis n'est permis, même dicté par des considérations liées aux risques. Les plus récentes études scientifiques ne permettent pas de douter de l'urgence à agir au niveau national et international. Les résultats de l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sont clairs: pour que la probabilité d'un non dépassement de la limite de 2 degrés décisive pour le réchauffement climatique soit suffisamment élevée, les pays industrialisés doivent parvenir à réduire leurs émissions de CO₂ de moins 25 à 40 pour cent d'ici 2020⁴. Le New Climate Economy Report (2014)⁵ confirme qu'il est moins cher d'agir aujourd'hui que de reporter les mesures à demain. Il montre en outre que la croissance économique et la protection du climat ne s'excluent pas, mais qu'elles vont main dans la main.

La campagne pour le climat lancée par le WWF Suisse et swisscleantech intitulée «WE TELL YOU: protéger le climat rapporte» demande ainsi une augmentation de l'objectif de réduction du CO₂ Suisse pour 2020 de moins 40% par rapport à 1990 ainsi qu'une réduction de moins 60% jusqu'en 2030. Dans les deux cas, 15% des réductions doivent avoir lieu à l'étranger.

La Suisse doit en outre s'engager activement sur le plan international, en faveur de l'introduction d'une taxe internationale et différenciée sur le CO₂. Un objectif climatique ambitieux ne peut être réalisé que si les énergies fossiles, qui occasionnent 70% des émissions globales de CO₂⁶, voient leur prix augmenter par le fait de taxes d'incitation. De la sorte, l'objectif climatique donne des impulsions décisives au marché en vue de l'augmentation de l'efficacité énergétique.

³ www.cleantech.admin.ch/cleantech/index.html?lang=fr

⁴ www.dievolkswirtschaft.ch/editions/200912/Bucher.html

⁵ New Climate Economy: Better growth, better climate (2014) – Publication suivante du «Stern Report»: The economics of climate change (2006)

⁶ Office fédéral de l'environnement (2012), statistique du CO₂ www.bafu.admin.ch/klima/09570/09572/index.html?lang=fr

Les 5 objectifs principaux de la Stratégie énergétique Cleantech

- 1. Véritable sécurité de l'approvisionnement par une réduction des risques nucléaires, géopolitiques et tarifaires, ainsi que par un relèvement du taux d'auto-approvisionnement à au moins 70% d'ici 2050, toutes énergies confondues.*
- 2. Renforcement systématique de la compétitivité suisse par une incitation à l'innovation et par l'exploitation de l'avantage au premier entrant.*
- 3. Application de toutes les mesures d'efficacité économiquement pertinentes pour faire reculer la consommation sans nuire à la qualité de vie.*
- 4. Production d'électricité provenant à 100% de sources renouvelables d'ici 2050 (y compris les importations) sans menacer la biodiversité et en tenant compte de la protection des paysages et des facteurs sociaux.*
- 5. Réductions des émissions de tous les gaz à effet de serre en Suisse à 1 tonne d'équivalent/CO₂ par personne et par an maximum en 2050. Cela correspond à une diminution de 90% au minimum des émissions de gaz à effet de serre en Suisse par rapport à 1990 grâce à des mesures prises dans le pays. A titre d'objectif intermédiaire, les émissions de CO₂ dans le pays doivent être réduites de 25% au minimum d'ici 2020 et de 45% au minimum d'ici 2030.⁷*

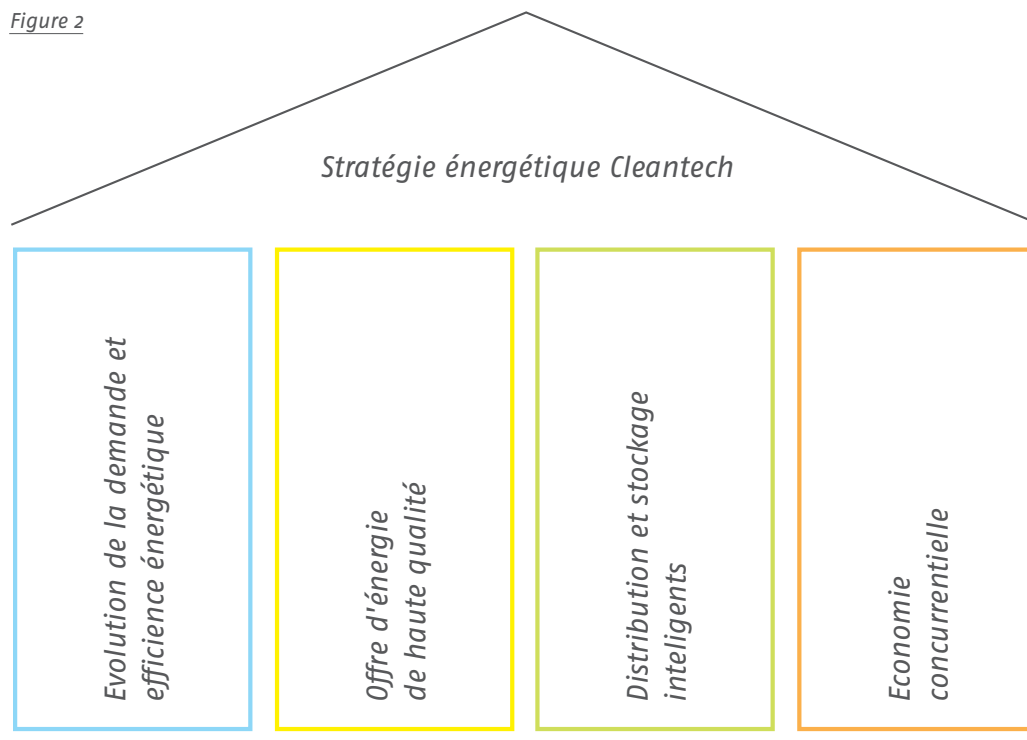
⁷ La Suisse doit en outre prendre des mesures pour parvenir à une réduction de 15% à l'étranger d'ici 2020 et de 15% encore d'ici 2030

4. LES QUATRE NOUVEAUX PILIERS

La Stratégie énergétique Cleantech ne sera une réussite que si des mesures spécifiques sont prises. Celles-ci concernent différents domaines de la politique. Ainsi, par exemple, l'approvisionnement énergétique par les énergies renouvelables doit disposer de capacités de stockage suffisantes et d'un réseau intelligent. Le montage des

cellules solaires nécessite des connaissances techniques de la part des artisans et le développement de la géothermie requiert d'intensifier les efforts de recherche ainsi que la construction d'installations pilotes. swisscleantech propose une redéfinition des quatre piliers de la politique énergétique suisse destinée à servir de base pour la stratégie relative aux mesures.

Figure 2



Evolution de la demande et efficacité énergétique

L'accroissement de l'efficacité énergétique est la condition du découplage de la croissance économique et de la consommation d'énergie, et il contribue à réduire la dépendance vis-à-vis de l'étranger. Tous les potentiels économiques améliorant l'efficacité énergétique do-

ivent être exploités de façon volontariste et proactive. Le facteur incitatif principal pour la mise en œuvre est l'internalisation des coûts. Dans les secteurs où des coûts en augmentation produisent des effets insuffisants, des valeurs limites et des standards progressivement plus exigeants sont utilisés.

Offre d'énergie de haute qualité

Toutes les sources d'énergies exploitables doivent être utilisées, mais essentiellement les sources renouvelables. La condition décisive est que toutes les sources supportent l'intégralité de leurs coûts. En font aussi partie tous les coûts externes, des coûts climatiques à la pollution de l'air en passant par les dommages à la biodiversité. Les sources d'énergie fossile étant largement responsables des émissions de gaz à effet de serre, la demande doit être réduite progressivement par des mesures telles qu'une taxe incitative sur le CO₂.

Les risques pour les tiers non impliqués – tels ceux des centrales nucléaires et des barrages – doivent en outre être compensés de manière adéquate.

Une offre énergétique de qualité supérieure se distingue en outre par sa disponibilité élevée, exempte de risques. Bien que l'électricité hydraulique, éolienne et solaire soit soumise à des variations saisonnières et quotidiennes, la disponibilité à long terme de cette source d'énergie est garantie. Il en va tout différemment des sources d'énergie nucléaires et fossiles, pour lesquelles des guerres ne cessent d'être menées. La plus grande partie des agents énergétiques de ce genre provient de régions politiquement instables. La logistique de leur transport est incertaine et constitue un risque inutile pour l'environnement.

La protection des paysages n'est pas négligeable non plus. Pour swisscleantech, il s'agit moins d'une perception subjective, soumise à une évolution culturelle. Il s'agit davantage de protéger la qualité des paysages en tant que base existentielle, de les préserver et de minimiser les influences susceptible de les détruire⁸.

A l'exception de la géothermie profonde (qui ne sera disponible qu'aux alentours de 2030 environ), seuls les potentiels et les technologies déjà disponibles aujourd'hui sont considérés dans nos calculs. L'accent est mis sur la qualité, même si celle-ci entraîne une augmentation d'environ 30% des coûts de l'électricité au total. Ces coûts seront plus que compensés par les avantages issus d'une augmentation de la création de valeur ajoutée dans le pays, d'une diminution de la pollution par le CO₂, de la baisse des coûts induite par les économies d'énergie, d'une proportion plus grande d'autoapprovisionnement et d'un meilleur positionnement des technologies Cleantech.

Distribution et stockage intelligents

Compte tenu de l'augmentation du nombre d'unités de production décentralisées opérant à partir de sources renouvelables et d'un essor des importations d'électricité, l'extension du réseau devient primordiale. Les éléments centraux de cette extension sont les réseaux intelligents, fournissant des informations de qualité sur la consommation et l'offre, qui stabilisent le réseau en connectant et en déconnectant de manière ciblées producteurs et consommateurs.

Un rattachement à l'Europe joue également un rôle de premier plan. La construction du réseau européen de transport d'énergie par courant continu à haute tension (réseau TECC) ainsi que le raccordement à ce réseau seront d'une grande importance pour la Suisse. Si notre pays veut saisir les opportunités qui en résultent, des solutions de stockage décentralisées comme des accumulateurs jouent un rôle important, en plus de nos centrales d'accumulation et de pompage.

Les réseaux et les possibilités de stockage favorisent une mise à disposition fiable de l'électricité, réduisent les coûts des sources d'énergie renouvelables et offrent de nouvelles possibilités pour le stockage et le commerce de l'électricité. Le stockage, en particulier, devra s'effectuer selon les heures de la journée et la saison. L'exploitation des lacs de retenue doit être optimisée de façon que l'on puisse stocker de manière efficace l'électricité excédentaire produite à partir d'énergies renouvelables. La liaison optimale entre stockage et réseaux permet aussi de compenser les variations saisonnières. Ici, la Suisse peut recourir à ses atouts existants et aux infrastructures disponibles, mais elle doit continuer à les développer sans perdre de vue les objectifs. Il convient aussi d'instaurer les conditions cadres appropriées aux investissements requis pour cette évolution

Economie concurrentielle

Outre cette priorité accrue accordée aux coûts de l'énergie, il convient également de mettre l'accent sur la compétitivité de l'économie suisse. Les produits énergétiquement efficaces et ceux destinés à la production d'énergie renouvelable constituent un marché en pleine croissance qui connaît un essor international. L'industrie helvétique doit avoir sa part de ces chances et pouvoir se positionner comme leader du marché. La Suisse doit faire des efforts pour produire sur son territoire ce qu'elle veut vendre à l'étranger et acquérir ainsi des connaissances et de l'expérience dans des domaines énergétiques pertinents.

⁸ P. ex. reflets des installations photovoltaïques, émissions sonores des turbines éoliennes, etc

5. LE MODÈLE ÉNERGÉTIQUE CLEANTECH

Afin d'objectiver les débats sur l'énergie et d'engager, dans le même temps, la mise en œuvre d'une stratégie énergétique techniquement réalisable et économiquement avantageuse, swisscleantech a commencé en 2011 à développer un modèle énergétique. Le degré de détail de ce travail a été progressivement augmenté. En juillet 2012, la grille de calcul sur lequel il repose a été soumise à un exercice de diligence raisonnable par Ernst & Young, afin de vérifier sa fonctionnalité arithmétique.

Ce modèle énergétique constitue un scénario hautement agrégé, en mesure de soutenir des acteurs comme les représentants de l'économie ou les politiciens, dans la définition de stratégies, d'objectifs et de mesures. Le modèle permet de représenter simplement et rapidement les effets des évolutions technologiques et sociales sur la consommation de l'énergie et sa mise à disposition, et ce jusqu'en 2050.

Ce modèle repose sur plus de 100 paramètres, dont 50 paramètres principaux qu'il est possible de modifier dynamiquement pour illustrer différentes évolutions et effectuer des comparaisons. Les potentiels d'efficacité énergétique ou des diverses énergies renouvelables constituent des exemples de telles grandeurs modifiables.

swisscleantech a imaginé différents scénarios en mettant, à chaque fois, plus fortement l'accent sur l'efficacité ou sur les énergies renouvelables. La condition est que les objectifs de la stratégie énergétique Cleantech décrits à la page 10 soient respectés. Le scénario de base présenté ci-après aboutit à un mélange équilibré de mesures d'amélioration de l'efficacité et d'extension des capacités pour les énergies renouvelables. Du point de vue de swisscleantech, cela constitue une solution économiquement intéressante.

Les paramètres de ce scénario ont été évalués dans le cadre du dialogue avec les entreprises membres et les experts, à l'occasion des discussions dans les groupes thématiques swisscleantech, et comparés à des études existantes.

Si les conditions cadres sont modifiées, par exemple en raison de la fermeture prématurée d'une centrale nucléaire en particulier, on peut et doit modifier les hypothèses de scénarios représentées ici si l'on veut bâtir à nouveau un scénario cohérent et finançable. Cela suppose toutefois que l'infrastructure de réseau nécessaire soit mise en place à l'échelon européen et que la Suisse y soit raccordée (cf. 8.1).

La présente Stratégie intègre toutes les émissions en Suisse, ainsi que les émissions dégagées par la production d'électricité importée et par le chauffage urbain acheté (catégorie 2 du Protocole des gaz à effet de serre)⁹. Ce que l'on appelle l'énergie grise, qui est importée en Suisse sous la forme des marchandises et de leur transport, n'est pas prise en compte. A long terme, cette solution n'est pas appropriée pour la politique climatique. Cette façon de faire correspond toutefois à la politique climatique internationale.

6. EVOLUTION DE LA DEMANDE ET EFFICIENCE ÉNERGÉTIQUE

L'énergie économisée est souvent celle qui coûte le moins cher. Un recul de la consommation énergétique entraîne aussi un recul de la dépendance et une progression de la création de valeur ajoutée via le développement et l'application de nouvelles technologies. Il ne faut toutefois pas faire reculer la consommation d'énergie en renonçant aux services demandés, mais en améliorant la qualité de la mise à disposition de ces services (efficacité).

Pour la politique énergétique et climatique, il est décisif de connaître les effets secondaires négatifs des **énergies primaires** utilisées telles que fioul, gaz, essence ou électricité. Pour le bien-être, l'offre de **services consommateurs d'énergie pouvant être mis à disposition grâce à l'énergie utilisée est déterminante**. Des exemples de services de ce genre sont le chauffage et le rafraîchissement des logements ou des bureaux, la mobilité en personnes/kilomètres ou en tonnes/kilomètres ou le fonctionnement des appareils.

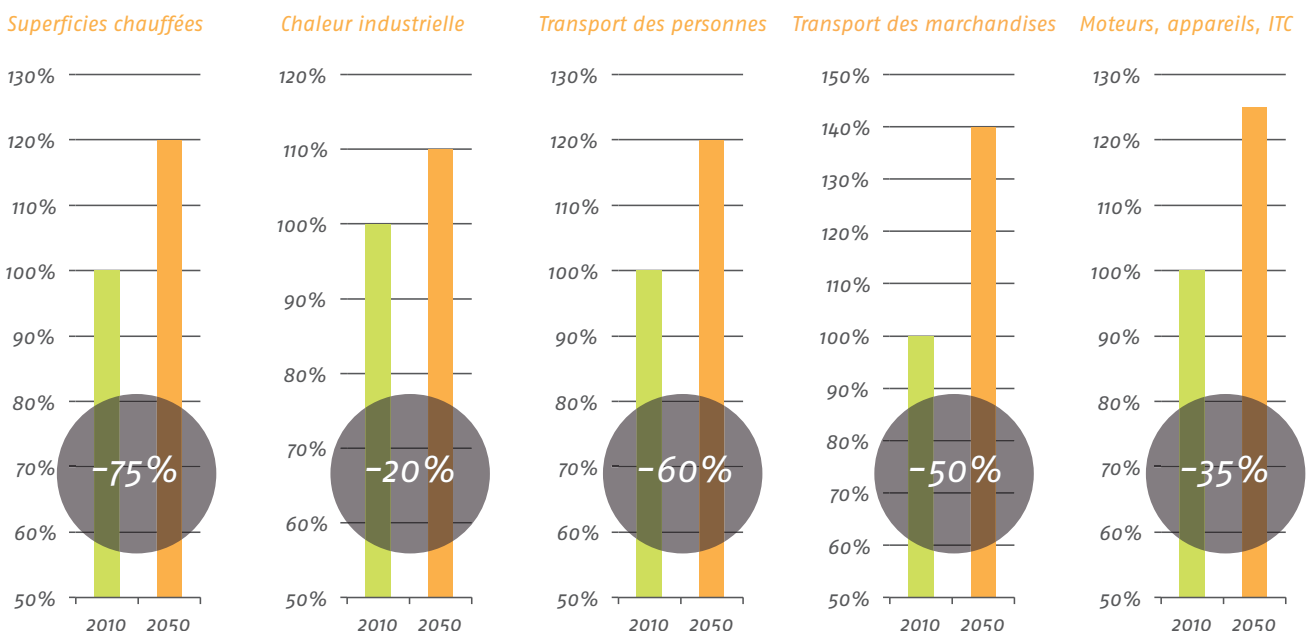
On a donc déterminé l'augmentation anticipée des besoins ainsi que le potentiel d'efficacité économique et technique atteignable pour chaque catégorie de service (voir figure 3 et tableau 1).

Dans l'ensemble, malgré la progression de la demande de services énergétiques, la concrétisation du potentiel d'efficacité existant aboutit à de grandes **économies dans la consommation d'énergie totale**. De plus, on abandonne les technologies inefficaces affichant un mauvais rendement énergétique (par exemple le chauffage au fioul, les chauffe-eau électriques ou le chauffage électrique) pour adopter des systèmes plus efficaces (par exemple des pompes à chaleur, la thermie solaire ou le couplage chaleur-force).

Cette évolution conduit à son tour à une forte réduction de la consommation d'énergies fossiles, mais aussi à une **hausse des besoins d'électricité**, dont l'ampleur dépend dans une large mesure de la rapidité avec laquelle ces

Figure 3
Demande énergétique: services / potentiel d'efficacité par unité de service
(valeurs arrondies / consolidées)

Les colonnes montrent l'augmentation de la demande énergétique jusqu'en 2050 par service énergétique (par exemple les superficies chauffées), en tenant compte du potentiel d'efficacité estimé.



mesures seront mises en œuvre dans le secteur du bâtiment (normes pour les nouvelles constructions, taux de rénovation, utilisation de pompes à chaleur, etc.) ainsi que de la diffusion de l'électromobilité.

Des innovations déterminantes sont possibles dans le bâtiment comme dans la mobilité. Sachant que ces innovations entraînent des avantages non négligeables sur le plan énergétique, swisscleantech table sur une diffusion rapide de ces technologies, donc sur une augmentation des besoins d'électricité d'environ 60 TWh aujourd'hui à environ 70 TWh en 2050.

L'évolution des besoins est étroitement liée à celle de la population. Elle est calculée sur la base de la croissance de la population, qui devrait passer à 9 millions d'habitants en 2050. Cette évolution correspond au scénario «moyen» des prévisions de l'OFS (2014), également utilisé par l'OFEN. L'année de base servant à la représentation est 2010. Le choix d'un autre set de données permet de représenter très facilement une autre évolution de la population dans le modèle énergétique.

Nous avons anticipé la croissance économique sur la base d'un scénario du statu quo, avec un taux annuel moyen de 1,2% jusqu'en 2050 (Seco 2011). Le tableau ci-dessous présente les principaux paramètres de l'évolution des besoins ainsi que les potentiels d'efficacité pris en compte. L'augmentation de l'efficacité des produits et des services peut provoquer un effet secondaire indésirable, appelé effet de rebond. Le danger est alors qu'une hausse de l'efficacité n'ait pas pour effet d'économiser l'énergie, mais de stimuler la demande. Pour l'éviter, les prix des ressources non renouvelables doivent être progressivement augmentés au moyen de mesures d'incitation. Des mesures pour influencer la demande et remplacer les ressources non renouvelables doivent en outre être prises.

Tableau 1
Principaux paramètres de l'évolution des besoins et potentiels d'efficacité
dans le secteur des services énergétiques

Evolution de 2010 à 2050

CHAUFFAGE	<p><i>Progression de la superficie</i></p> <p>La superficie chauffée va continuer d'augmenter jusqu'en 2050, mais le taux de croissance spécifique de 5 m² par personne et par décennie va néanmoins ralentir, ce qui se traduira au total par une hausse de 20% de la superficie chauffée. Cette progression devrait surtout intervenir dans les zones déjà peuplées, via une densification ciblée.</p>	+ 20%
	<p><i>Energie de chauffage par superficie construite</i></p> <p>A compter de 2020, les constructions nouvelles représenteront l'essentiel des bâtiments zéro énergie, et le parc existant sera progressivement modernisé. Le rythme de rénovation énergétique s'établit à 2,5%. Les systèmes d'isolation thermique optimisés jouent un rôle important sur ce plan. La consommation d'énergie de chauffage^o peut ainsi être comprimée de 60% en moyenne dans tous les bâtiments. Des règles spéciales s'appliquent pour les bâtiments protégés ou à l'architecture prestigieuse (voir plus bas).</p>	- 60%
	<p><i>Production de chaleur</i></p> <p>A l'avenir, la plupart des bâtiments seront chauffés par des pompes à chaleur. En 2050, ces dernières afficheront en moyenne un coefficient de performance annuel de 5, ce qui permettra de réduire de 80% l'énergie de qualité nécessaire¹.</p>	- 80%
	<p><i>Centres villes densément peuplés et bâtiments à l'architecture prestigieuse</i></p> <p>Il convient de traiter séparément la question de nos centres villes présentant une forte densité de population. Il n'est en effet guère possible d'envisager de chauffer ces zones par des pompes à chaleur. Bien souvent, il n'est pas possible de rénover complètement le patrimoine bâti prédominant sans porter atteinte à ses qualités architecturales. L'isolation permet néanmoins de réduire le besoin de chaleur de chauffage de 35%. L'objectif est de chauffer ces bâtiments par la chaleur résiduelle et des réseaux de chauffage locaux. Il reste encore un petit nombre de bâtiments qui ne peuvent pas être raccordés à un réseau de chauffage urbain. A l'avenir, ils devront être chauffés par la chaleur résiduelle issue de la cogénération.</p>	- 30% bis - 35%
	<p><i>Réduction de la consommation pour le chauffage, total</i></p> <p>L'aménagement du territoire joue un rôle déterminant pour la concrétisation de ce potentiel. En principe, les superficies habitées existantes doivent être optimisées. On doit également mettre en œuvre des méthodes urbanistiques grâce auxquelles la population des zones peu peuplées se densifiera et les bâtiments gros consommateurs d'énergie seront remplacés par de nouvelles constructions durables. Un aménagement du territoire bien ciblé non seulement limite l'utilisation des sols, mais se révèle également décisif pour l'évolution de la circulation. Plus la population augmentera au cours des prochaines décennies et plus cet aspect gagnera en importance.</p>	- 75%
TRANSPORT DES MAR- CHANDISES	<p><i>Augmentation générale de la mobilité</i></p> <p>D'ici 2050, en tonnes/kilomètres, le transport des marchandises va augmenter d'environ 40%.</p>	+ 40%
	<p><i>Transport ferroviaire</i></p> <p>Augmentation proportionnellement plus élevée. A l'avenir, 22% supplémentaires du transport des marchandises actuel passeront par le rail. En moyenne, cela se traduira par une économie d'énergie de 80% par rapport à la situation actuelle.</p>	- 80%
	<p><i>Répartition fine avec les véhicules électriques</i></p> <p>Ils assurent 15% du transport motorisé des marchandises. Une réduction de la consommation d'énergie par kilomètre d'un facteur 2 est possible.</p>	- 50%
	<p><i>Véhicules de transport des marchandises (poids lourds) à moteur à combustion classique</i></p> <p>Ils assurent les 63% restants du transport des marchandises. Eux aussi affichent une consommation en nette baisse grâce à une meilleure conception et à l'optimisation des moteurs à combustion.</p>	- 30%
	<p><i>Réduction de la consommation pour le transport des marchandises, total</i></p>	- 45%

TRANSPORT DES PERSONNES	<i>Augmentation générale de la mobilité</i> D'ici 2050, la mobilité en personnes/kilomètres augmentera d'environ 20%. Cette progression est proportionnellement légèrement plus forte que celle de la population.	+ 20%
(transport individuel motorisé)	<i>Transports publics</i> Augmentation proportionnellement plus élevée. A l'avenir, 20% supplémentaires du transport individuel motorisé actuel seront assurés par les transports publics. En moyenne, cela se traduira par une économie d'énergie de 80% par rapport à la situation actuelle dans le transport individuel motorisé.	- 80%
	<i>Transport virtuel et transport lent</i> Une promotion ciblée peut permettre de remplacer ainsi 15% du transport individuel motorisé actuel. Ces deux formes de mobilité ne représentent que 1-2% des besoins d'énergie du transport individuel motorisé.	- 98%
	<i>Véhicules électriques</i> L'électromobilité va jouer un grand rôle dans la mobilité à l'avenir. En effet, en 2050, 40% de tous les véhicules seront électriques ou largement propulsés par l'électricité. Ces véhicules se caractérisent par une consommation d'énergie trois fois inférieure à celle des véhicules conventionnels.	- 66%
	<i>Véhicules individuels à moteur à combustion classique</i> Les 25% restants du transport individuel motorisé sont assurés par des véhicules plus efficaces (moteurs à combustion plus légers et optimisés, etc.). Eux aussi affichent une consommation d'énergie en nette baisse.	- 50%
	<i>Réduction de la consommation pour le transport des personnes (transport individuel motorisé), total</i>	- 60%
INDUSTRIE DES PROCESSUS	<i>Augmentation</i> Une augmentation modérée de la production doit rester possible. Il ne faut toutefois pas partir du principe d'une réindustrialisation avec recours à des processus de production à forte intensité énergétique.	+ 10%
(utilisation de la chaleur dans l'industrie)	<i>Augmentation de l'efficacité</i> Une optimisation substantielle des sites de production peut conduire à une réduction de 20% supplémentaires. L'utilisation de la chaleur résiduelle, une meilleure isolation thermique et la transformation des processus sont les principaux moyens envisagés.	- 20%
CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ: MOTEURS, APPAREILS ET TIC	<i>Augmentation</i> Une augmentation de la production est également prévue pour les appareils consommant de l'électricité. Les services rendus par ces appareils (par exemple force, refroidissement, information, etc.) vont progresser d'un quart, et cette progression est proportionnellement légèrement plus forte que celle de la population.	+ 25%
(privés et industriels)	<i>Augmentation de l'efficacité</i> Dans le même temps, ces appareils vont gagner en efficacité. Les pistes importantes à suivre sont la réduction des utilisations inutiles ¹⁰ par une amélioration des systèmes de commande, les moteurs à convertisseur de fréquence et la miniaturisation croissante dans le domaine des TIC.	- 35%

Croissance des services demandés

Gain d'efficacité dans la mise à disposition des services comparé à aujourd'hui. Explication: si par exemple la surface chauffée en Suisse augmente, le service demandé croît également. Si les bâtiments sont mieux isolés, l'énergie nécessaire pour les chauffer est moindre. Il en résulte un gain d'efficacité.

¹⁰ La consommation d'énergie de chauffage se définit par la perte d'énergie thermique d'un bâtiment et ne dit rien sur la manière dont cette énergie est mise à disposition.

¹¹ Par exemple l'électricité, le pétrole ou le gaz. Lorsque ces sources d'énergie sont brûlées, leur teneur énergétique est entièrement transformée en chaleur. En revanche, avec une pompe à chaleur affichant un coefficient de performance annuel de 5, on utilise seulement 20% d'électricité pour obtenir 100% de chaleur.

¹² Souvent des installations et des locaux sont laissés dans un état de fonctionnement même si ils ne sont pas utilisés. Lorsque des locaux ne sont pas utilisés, la température pourrait être baissée ou la circulation d'air pourrait être réduite.

7. OFFRE D'ÉNERGIE DE GRANDE QUALITÉ

Comme présenté aux chapitres 2 et 3, la Stratégie énergétique Cleantech vise un approvisionnement énergétique de qualité supérieure. Cela signifie que les combustibles et les carburants fossiles doivent être remplacés par l'électricité, parallèlement à la sortie du nucléaire. La production d'électricité de sources renouvelables est donc un élément central de l'approvisionnement énergétique futur.

Pour que la transformation du système d'approvisionnement soit une réussite, il est nécessaire de déterminer le type d'utilisation optimal pour chaque forme d'énergie. Il s'agit de limiter les pertes lors de la conversion de l'énergie et d'exploiter chaque forme énergétique là où elle peut être utilisée sans pertes de conversion¹³. Le critère décisif est la valeur de l'énergie, qui indique quel est le spectre d'utilisation optimal pour les différentes sources et agents énergétiques. Les attributions les plus importantes sont représentées dans le Tableau 4. L'utilisation spécifique doit être adaptée aux conditions locales et régionales et optimisée au cours d'une étape ultérieure.

Nous verrons ci-après

- comment l'électricité nécessaire doit être mise à disposition à l'avenir,
- d'où provient la chaleur nécessaire et
- dans quelle mesure les énergies fossiles sont encore nécessaires.

7.1 PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

Une production durable d'électricité encourage les capacités de production supplémentaires, en grande partie aussi en Suisse. La force hydraulique restera la technologie de production la plus importante à l'avenir également. L'expansion sera toutefois essentiellement le fait des énergies solaire et éolienne.

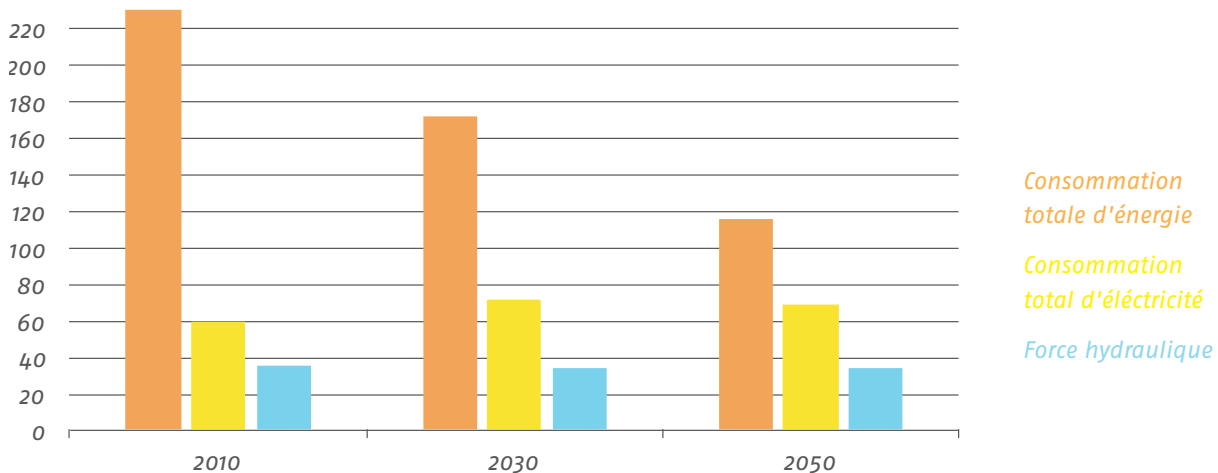
Nous partons du principe que la rétribution du courant injecté à prix coûtant (RPC) est le moyen adéquat durant une phase de transition, afin d'atteindre les objectifs de développement fixés. A partir de 2020, la RPC sera progressivement remplacée par un système d'incitation en matière énergétique. Une croissance organique raisonnable des secteurs impliqués doit être garantie pendant toute la période. Les phases de croissances s'étalant sur plusieurs années de plus de 50% sont exclues d'entrée pour toutes les branches et technologies, afin d'éviter la formation de bulles. En tenant compte des coûts entiers et grâce aux effets d'apprentissage et d'échelle, la production d'électricité de sources renouvelables devrait très bientôt être concurrentielle sur le marché. La condition est toutefois que le marché de l'électricité couvre, de manière adéquate, tant les coûts externes que les coûts d'investissement (voir chapitre p. 8.3).

Force hydraulique

La source la plus puissante d'énergie renouvelable est traditionnellement la force hydraulique, qui continuera de représenter un pilier important de l'approvisionnement électrique suisse à l'avenir. Un rôle de premier ordre devant être attribué à la préservation de la biodiversité, son potentiel de développement est relativement faible. Le potentiel pertinent réside dans le renouvellement et le développement des centrales existantes, dans les nouvelles installations situées à des emplacements sélectionnés et, dans une moindre mesure, dans les petites centrales hydrauliques.

¹³ Ainsi, par exemple, l'utilisation de la chaleur pour produire de l'électricité n'est possible qu'au prix de pertes importantes, alors que la conversion de l'électricité en chaleur est très simple. Il est donc peu judicieux de brûler du gaz naturel sans, dans le même temps, en tirer de l'électricité. Mais la valeur de la chaleur varie également en fonction de la température. Il en résulte ainsi des cascades optimales dans l'utilisation de l'énergie.

Figure 4
évolution des centrales hydrauliques au fil du temps. Légère croissance à 33.4 TWh jusqu'en 2050
cf. tableau 5



Dans un système de production électrique renouvelable, **les lacs de retenue et les centrales à pompage-turbinage**¹⁴ jouent un rôle plus important que celui qui est le leur actuellement. Les centrales à pompage-turbinage peuvent être régulées de manière très efficace, moyennant des pertes énergétiques minimales. Avec des systèmes de stockage temporaires rapidement efficaces comme les batteries et/ou les condensateurs haute puissance, ces solutions contribueront, à l'avenir, à assurer un approvisionnement énergétique durable et stable. Il en résulte des modèles d'affaires très intéressants pour les périodes au cours desquelles l'offre d'électricité solaire et éolienne est provisoirement plus faible.

La force hydraulique suisse joue donc un rôle toujours aussi important, tant pour la production que pour le stockage, en Suisse comme dans les pays étrangers voisins. Il faut donc examiner aussi le potentiel de centrales de pompage-turbinage supplémentaires. La fonte des glaciers dans les Alpes crée également un potentiel significatif pour les lacs de retenue. Le projet KWO au glacier de Trift¹⁵ est précurseur en la matière, tant du point de vue technique que sous l'angle de la gestion des intérêts et de l'environnement. Pour être en mesure d'exploiter pleinement le potentiel de flexibilisation des lacs de retenue, de nouveaux lacs et les lacs existants doivent être équipés de **systèmes de stockage et de centrales de dérivation** correspondants, permettant une exploitation dynamique et tolérable pour l'environnement.

Les **petites centrales hydrauliques** permettent également de produire de l'énergie supplémentaire. Ces installations ne doivent toutefois pas influencer négativement la valeur et le bon fonctionnement des cours d'eau naturels (y compris biodiversité et paysages). Des projets de compensation judicieux ou de nouveaux types de centrales assurant une meilleure connectivité des cours d'eau peuvent le garantir. Dans l'ensemble, la contribution des petites centrales hydrauliques à l'approvisionnement général reste toutefois relativement faible. swisscleantech est sceptique quant à leur utilisation dans les Alpes. Leurs caractéristiques de production présentent une saisonnalité inadéquate, la neige affaiblissant la production pendant le semestre d'hiver. Comparé à l'atteinte portée à l'espace alpin délicat, leur bénéfice est donc limité.

Une hausse de la température due au climat de moins de 2 °C aura déjà une influence sur le régime d'écoulement des cours d'eau: les débits vont augmenter en hiver et diminuer en été. Ces modifications ont été prises en compte sous forme de paramètre dans le modèle énergétique Cleantech. On estime que le débit diminuera de 10% pendant le semestre estival et qu'il augmentera de 10% en hiver¹⁶.

Actuellement, les centrales hydrauliques se trouvent dans une situation difficile due aux surcapacités des centrales thermiques¹⁷. Les prix actuels du marché ne permettent pas de financer de nouvelles centrales et des rénovations de centrales existantes. Cela ne changera que lorsque les coûts de revient de la production d'électricité reflèteront les véritables coûts globaux (voir chapitre 8.3).

¹⁴ Les centrales à accumulation sont directement alimentées par l'eau qui s'écoule, tandis que les centrales à pompage-turbinage doivent commencer par pomper l'eau se trouvant dans un bassin inférieur dans un bassin supérieur. Cette eau peut être turbinée ultérieurement et s'écoule alors du haut vers le bas.

¹⁵ Les centrales électriques Oberhasli (KWO) prévoient un lac de retenue au glacier de Trift, en train de fondre: <http://www.srf.ch/news/schweiz/neuer-stausee-soll-den-klimawandel-nutzen>

¹⁶ D'après P. Hänggi, R. Weingartner, M. Balmer, Wasser Energie Luft, cahier 4 (2011), Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung in der Schweiz 2021–2050 – Extrapolation

¹⁷ En particulier les centrales à la houille et au lignite

Un soutien provisoire des centrales hydrauliques au moyen de contributions aux investissements pour les grandes centrales hydrauliques et leur intégration à la RPC sont donc corrects. L'introduction de la taxe sur le courant sale doit également faire l'objet d'un examen sérieux. L'adaptation des modèles de marché et de subventions ainsi que le passage du système d'encouragement à celui d'incitation doivent faire en sorte que cet encouragement, de même que ses effets d'entraînement restent limités. Il faut éviter un arrêt des investissements dans le secteur de l'énergie hydraulique et des services-systèmes liés.

Dans l'ensemble, swisscleantech s'attend à une hausse de la production des centrales hydrauliques de 5% d'ici 2050. L'évolution est visible dans le Tableau 5, à la page 44. Les pertes dues au changement climatique ainsi que les hausses de la production grâce à une meilleure efficacité et aux nouvelles capacités sont également prises en considération.

Energie photovoltaïque

Technique de production d'électricité ayant de très faibles influences négatives sur l'environnement local, l'énergie solaire contribue de manière importante à un approvisionnement énergétique durable. Nous partons du principe que la technologie dominante pour la production d'électricité solaire sera le photovoltaïque (PV).

La production d'électricité photovoltaïque attendue nécessitera une surface d'environ 150 km², ce qui représente moins de 30% de la surface des bâtiments en Suisse (voir tableau 2)¹⁸. Les installations photovoltaïques seront essentiellement posées sur les toits. De plus en plus, toutefois, les façades devraient venir les compléter pour la production d'électricité. Alors que les installations sur les façades sont moins performantes, elles permettent de mieux répartir la production entre les saisons et au cours de la journée.¹⁹ Un autre potentiel intéressant est celui offert par l'infrastructure routière, le long des autoroutes ou sur les parkings, par exemple, ou encore sur les pare-avalanches. Dans de tels cas, une bonne intégration à l'environnement est essentielle, afin d'éviter les influences négatives.

De manière générale, la pose de telles installations en Suisse reste liée à une grande charge de travail. Il existe donc des effets d'échelle notables à ce niveau, en particulier

¹⁸ La surface des bâtiments sert ici de valeur de comparaison, puisqu'on est en droit de partir du principe que d'ici 2050, de très nombreuses formes de toits inadaptées aujourd'hui auront été optimisées pour permettre la production d'énergie photovoltaïque.

¹⁹ Les installations tournées vers l'est commencent le matin plus tôt à produire de l'énergie, atteignant le pic de production avant midi et perdant leur ensoleillement au début de l'après-midi déjà. Les installations posées sur les façades produisent moins en été et c'est justement là que pourrait apparaître un excédent à l'avenir

Tableau 2

Surfaces des bâtiments aujourd'hui ¹⁸	Bâtiments industriels et artisanaux	88 km ²
	Bâtiments d'habitation	224 km ²
	Bâtiments publics	31 km ²
	Bâtiments agricoles	93 km ²
	Autres aires de bâtiments	52 km ²
Total de la surface des bâtiments		488 km²
Autres surfaces d'habitat et d'infrastructure actuelles	Routes	673 km ²
	Places de stationnement	64 km ²
	Surfaces ferroviaires fixes	611 km ²
	Aérodromes	100 km ²
	Total des autres surfaces d'habitat et d'infrastructure fixes	1 448 km²
Installations solaires	Aujourd'hui	0.7 km ²
	2030	65 km ²
	2050	145 km ²

dans l'optimisation des systèmes de montage. L'objectif est qu'à l'avenir, les installations photovoltaïques soient considérées comme des éléments standard de l'enveloppe des bâtiments.

Puisque la surface construite et utilisée par la technique est disponible en quantité suffisante pour les installations de production prévues, swisscleantech estime que les installations placées sur des surfaces libres ne sont judicieuses qu'à titre exceptionnel. Dans une Suisse densément peuplée, les terres agricoles et les lieux de détente devraient être prioritaires. Des installations placées sur des surfaces libres et dotées de propriétés particulières,²⁰ avant tout dans les Alpes, peuvent toutefois contribuer à améliorer l'offre. De telles installations peuvent produire presque autant d'électricité été comme hiver et améliorer ainsi l'offre pendant la saison froide. Souvent, le résultat est même meilleur en montagne, au-dessus de la limite du brouillard, que dans le Sahara.²²

Pour permettre à l'industrie du solaire de croître rapidement, et pour que cette croissance soit réalisable dans la pratique, tout en évitant la formation d'une bulle, le développement annuel des installations est limité à 45% maximum dans la Stratégie énergétique Cleantech.

²⁰ Inclinaison optimale, réflexion de la neige ou de l'eau en montagne et au bord des lacs, mauvaise qualité des surfaces de sol utilisées

²¹ OFS (2009), statistique suisse de la superficie 2004/2009

²² Urs Muntwyler, Berner Fachhochschule (2013), Has Europe a need for solar plants in Africa?

Figure 5
évolution de l'énergie solaire au fil du temps. Croissance continue à 16.4 TWh jusqu'en 2050
cf. tableau 5

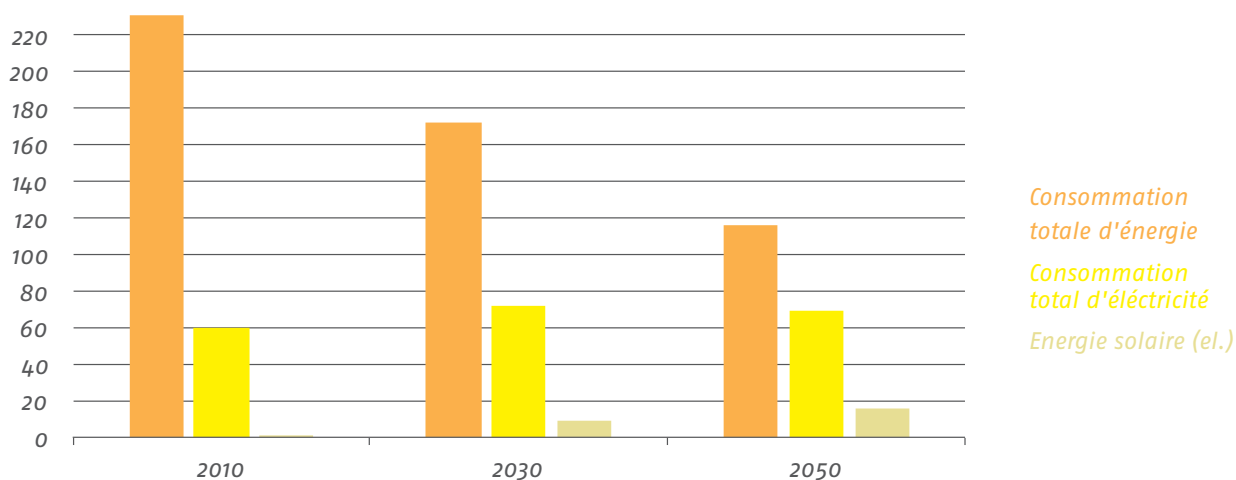


Tableau 3
potentiels de baisse des coûts de l'énergie solaire

ASSURER LE DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE	<ul style="list-style-type: none"> – Base de cellules solaires conductrice négative (type n) avec rendement de plus de 24% – Modules à couche de silicium fine au rendement plus élevé que les modules à couche fine actuels
NOUVELLES MATIÈRES	<ul style="list-style-type: none"> – Cellules solaires PERC sérigraphiées – Cellules semi-conductrices ultrafines – Cellules solaires organiques – Cellules solaires tandem avec degrés d'efficacité supérieurs à 40% – Verre flotté: plus fin pour les modules verre-verre au lieu des modules verre-feuille
OPTIMISATION DE LA CONCEPTION DES INSTALLATIONS	<ul style="list-style-type: none"> – Baisse des prix du silicium grâce à de nouvelles capacités de production – Remplacement de l'argent (cher) par du cuivre (meilleur marché) – Prix des onduleurs en baisse suite à l'entrée de l'Asie sur le marché – Augmentation des performances des modules – Durée de vie plus longue des modules – Optimisation des processus de fabrication – Coûts inférieurs pour le verre grâce aux nouvelles technologies de trempage du verre
OPTIMISATION DES SYSTÈMES DE MONTAGE	<ul style="list-style-type: none"> – Exploitation plus élevée de l'énergie solaire d'env. 24% avec les systèmes de montage orientés est-ouest sur les toits plats – Economie de temps grâce aux systèmes de montage à encliqueter sur les maisons d'habitation et systèmes de montage avec peu d'éléments – Sous-contructions meilleur marché et plus légères en fibre de verre
USAGE DOUBLES: REMPLACEMENT DES SYSTÈMES POUR LES TOITS ET LES FAÇADES PAR DES SYSTÈMES PRODUCTEURS DE COURANT	<ul style="list-style-type: none"> – Remplacement des tuiles et des panneaux en Eter-nit sur les toits et les façades par des éléments photovoltaïques préfabriqués – Éléments adaptés les uns aux autres pour l'intégration plus simple des composants photovol-taïques – Réduction du travail de planification
USAGE DOUBLES: PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ ET DE CHALEUR	<ul style="list-style-type: none"> – Utilisation de la chaleur résiduelle des installations photovoltaïques pour la régénération des sondes géothermiques et pour la production d'eau chaude

Jusqu'en 2025, la croissance ralentit à environ 1% par année. La branche de l'énergie solaire chargée des installations atteint alors son potentiel de production pronostiqué. La croissance des surfaces se poursuit.

Le renouvellement et le démontage d'anciennes installations ne s'équilibrent qu'après 2050. Grâce au progrès technologique, la production d'énergie solaire continuera cependant de croître. Les coûts de production de l'électricité solaire sont évalués à 0.1 Fr./kWh en 2050. Ce prix englobe aussi les coûts du stockage à court terme et décentralisé de 0.02 Fr./kWh.²³ Les résultats de la recherche montrent qu'à l'avenir, un potentiel de baisse des coûts supplémentaire existe dans la production des modules, la conception des systèmes et leur installation.

L'énergie solaire devant devenir, après l'énergie hydraulique, le deuxième pilier essentiel de l'approvisionnement électrique en Suisse, les coûts de développement sont importants. Près de 50% des coûts de projet (fabrication, installation et maintenance) sont générés en Suisse, raison pour laquelle le photovoltaïque joue aussi un rôle économique, en particulier pour l'artisanat.

Energie éolienne

Après l'énergie hydraulique, la vent est actuellement la source la plus importante d'énergies renouvelables. Il livre déjà 4%²⁴ des besoins en électricité dans le monde, et présente des taux de croissance élevés partout sur la planète. Le vent est une source intéressante pour la production de courant, puisque ses influences négatives sur l'environnement sont faibles et qu'il présente une grande disponibilité, surtout lorsque l'énergie éolienne est intégrée à un vaste système coordonné.

En Suisse, à ce jour, seule une faible partie du potentiel est réalisée. L'une des raisons essentielles est la faible acceptation des turbines éoliennes dans le pays. A cela s'ajoutent des conditions de vent moins favorables en Suisse que dans les pays avec de vastes plaines et/ou des zones côtières. Malgré cela, un potentiel de développement existe et il est judicieux d'utiliser les emplacements adaptés.

Contrairement à la production des installations solaires, celle des centrales éoliennes est souvent plus importante en hiver. Dans nos calculs, nous nous basons aussi sur les importations en hiver. Celles-ci ne sont toutefois pas disponibles à volonté, malgré les développements prévus du réseau. L'énergie éolienne est donc un complément judicieux du parc de production helvétique.

Renoncer à l'encourager serait déraisonnable, malgré son modeste potentiel. Les études les plus récentes²⁵ montrent que, techniquement, le vent peut contribuer de manière non négligeable à l'approvisionnement électrique, à hauteur de 20 TWh. En tenant compte de la protection des paysages et des oiseaux, swisscleantech part du principe qu'en Suisse, près de 6 TWh de courant d'origine éolienne sont réalisables. Les emplacements adéquats sont presque exclusivement situés dans le Jura et dans les Alpes.²⁶ L'acceptation de l'énergie éolienne ne progressera que lentement, mais régulièrement, et les oppositions freineront le développement. C'est pourquoi la réalisation n'avancera qu'au ralenti.

Les importations de courant d'origine éolienne présentent un potentiel important, à condition que les lignes nécessaires soient disponibles. L'engagement financier des fournisseurs suisses d'énergie à l'étranger joue de ce fait un rôle important, tout comme l'intégration de la Suisse à la planification du réseau européen.

Electricité issue du couplage chaleur-force

La majeure partie de notre approvisionnement électrique sera couverte, en 2050, par la force hydraulique, l'énergie solaire et la force éolienne. Ces technologies seront complétées par des installations basées sur le couplage chaleur-force (CCF), alimentées par divers agents énergétiques. Toutes les installations CCF produisent des quantités relativement importantes de chaleur résiduelle, qui devraient être exploitées. La production des installations CCF est plus facile à planifier que, par exemple, celle des installations éoliennes et solaires.

En revanche, elle est plus difficile à planifier que celle des lacs de retenue. C'est la raison pour laquelle les installations CCF devraient avant tout être exploitées en hiver. C'est en effet à ce moment-là que l'offre de courant a tendance à être limitée, alors que la demande de chaleur est la plus importante. Il faut faire en sorte que les installations puissent travailler en état de fonctionnement optimal et le plus longtemps possible en hiver, puisque les processus de démarrage et d'arrêt augmentent les coûts et réduisent la durée de vie des installations.

Les sources d'énergie à disposition des installations CCF sont la biomasse, les ordures ménagères et la géothermie, de même que le gaz naturel durant les phases de transition. Afin d'utiliser de manière optimale ces sources d'électricité complémentaires, l'agent énergétique utilisé doit être disponible, particulièrement en hiver.

²³ Rapport sur l'évolution de l'énergie photovoltaïque: www.swisscleantech.ch/fileadmin/content/CES/SCA_CES_2012_Hintergrundbericht_Photovoltaik.pdf

²⁴ www.wwindea.org

²⁵ Suisse Eole et Meteotest, (2012) http://www.suisse-eole.ch/uploads/media/Facts-Neupotenzial-121126_01.pdf

²⁶ Office fédéral de l'énergie (2004, mise à jour 2010), concept d'énergie éolienne pour la Suisse

Il faut donc faire en sorte de pouvoir le stocker.²⁷

Importations d'électricité

Un élément central de la Stratégie énergétique Cleantech est d'accroître la création de valeur locale.

²⁷ Ce point est facile à réaliser pour le bois. Il est désormais aussi en partie pratiqué avec les ordures ménagères, stockées en balles. Concernant l'utilisation de bio masse humide, le biogaz produit doit si possible être injecté dans le réseau. Si le biogaz sert directement à la production d'électricité, ce qui n'est possible qu'en été, une grande partie de la chaleur résiduelle ne peut pas être utilisée. Par ailleurs, le courant issu de la biomasse est alors en concurrence avec le courant électrique bon marché.

Malgré cela, un auto-alimentation complet en énergie n'est pas un objectif judicieux, les coûts de développement progressant fortement avec la hausse du degré d'autarcie.

C'est pourquoi nous anticipons la poursuite de la hausse des importations d'électricité, en particulier parce que les importations d'électricité continueront d'augmenter, surtout en hiver. Parallèlement, l'intégration de la Suisse au réseau électrique européen se poursuivra, aussi pour permettre l'importation de quantités plus conséquentes.

Figure 6
évolution de l'énergie éolienne et des importations au fil du temps

Croissance continue de l'énergie éolienne dans le pays à 5.2 TWh jusqu'en 2050 Les importations augmentent jusqu'en 2030 avant de se remettre à baisser. Détails cf. tableau 5

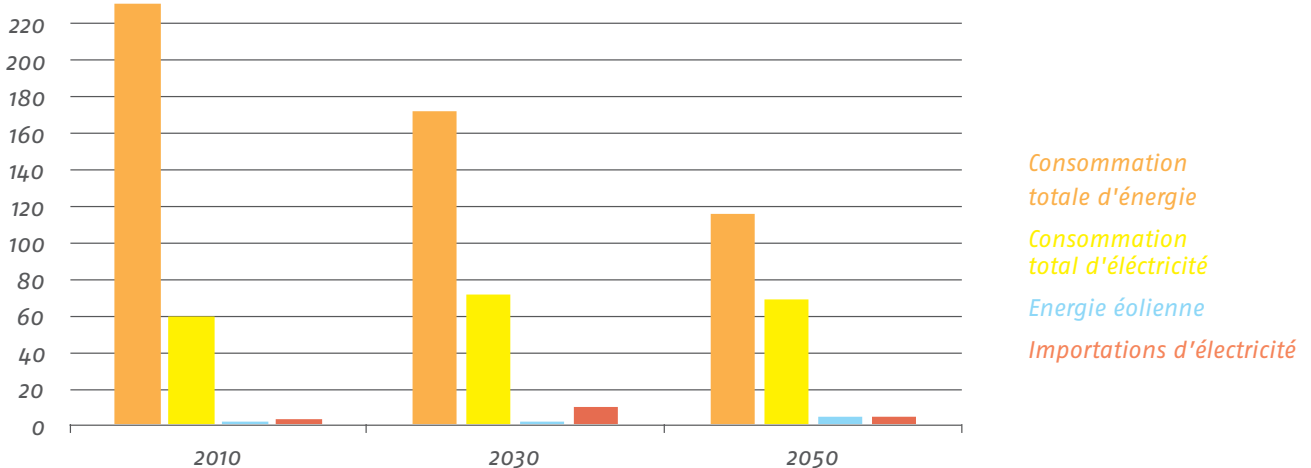
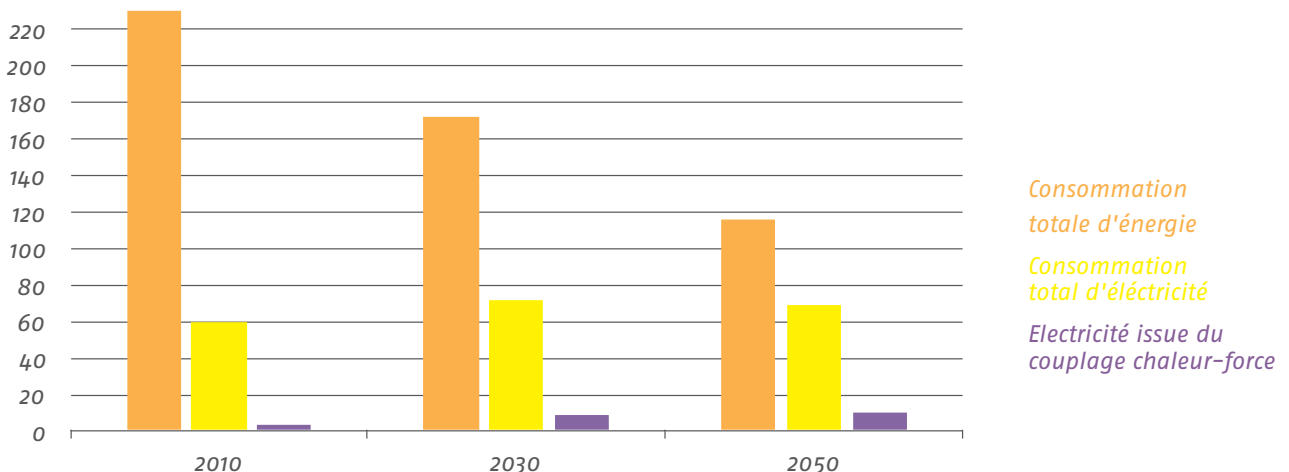


Figure 7
évolution du couplage chaleur-force au fil du temps

Croissance continue à 16.4 TWh jusqu'en 2050, cf. tableau 5



Les importations de courant doivent provenir de sources durables et propres, un point à prendre en compte dans les réflexions sur les prix et les capacités. Le remplacement des agents énergétiques primaires nucléaires ou fossiles en Suisse par de l'électricité issue de centrales à charbon ou à gaz n'est pas judicieux, tant pour des raisons de protection du climat que pour des raisons concurrentielles. Des importations propres peuvent être assurées au moyen de mesures adéquates, à l'image d'une taxe sur le courant gris par exemple.²⁸

Concernant les importations de courant, la disponibilité saisonnière et temporelle est un facteur décisif. L'intégration directe de ces importations à la production issue des centrales de stockage et de pompage-turbinage suisses est de ce fait incontournable (cf. chapitre 8 et «L'approvisionnement en électricité en hiver», page 38).

7.2 CHALEUR

Dans la consommation énergétique actuelle, la chaleur joue un rôle important. 36% de l'énergie sert à chauffer les bâtiments et à produire de l'eau chaude. 11% servent à produire de la chaleur de processus²⁹. La réduction de la consommation est en première ligne dans le secteur du bâtiment. Mais il faut également veiller à ce que la chaleur provienne de sources aussi durables que possible.

Les suivantes sont idéales:

- **Energie solaire thermique**
- **Chaleur ambiante, complétée d'électricité de production durable**
- **Chaleur résiduelle des processus de production, des usines d'incinération des ordures ménagères et des installations de couplage chaleur-force (CCF)**

Energie solaire thermique

L'énergie solaire thermique convient particulièrement bien à la production d'eau chaude dans les habitations ou pour les processus techniques.

Nous partons du principe qu'en 2050, 40% de l'eau chaude sera produite dans des installations solaires thermiques du domaine du bâtiment. En guise d'alternative, l'eau chaude pourrait également être produite indirectement, par le biais de pompes à chaleur et d'électricité photovoltaïque.

Le choix de la variante dépend fortement de l'évolution des coûts des installations photovoltaïques et solaires-thermiques. Dans ce contexte, il ne faut pas oublier que la production de chaleur représente aussi une manière avantageuse d'utiliser l'excédent de production électrique. Elle peut donc aussi contribuer à stabiliser le réseau en absorbant les excédents, tout aussi dangereux pour la stabilité du réseau qu'une production insuffisante.³⁰

Chaleur ambiante

La pompe à chaleur sera le système le plus important pour la fourniture de chaleur ambiante à l'avenir. Les pompes à chaleur extraient l'énergie thermique de leur environnement et la transforment en énergie utile. Plus la température ambiante est élevée et moins elles consomment d'électricité. Les eaux usées, les eaux souterraines et la chaleur des sondes géothermiques sont donc de meilleures sources de chaleur ambiante que l'air extérieur. L'eau des lacs peut également être utilisée lorsque la situation s'y prête.

À l'avenir, les accumulateurs de chaleur à régénération saisonnière³¹ et la chaleur résiduelle de moindre qualité de l'industrie, des services et de l'artisanat joueront un rôle toujours plus important. Ces sources de qualité supérieure améliorent nettement le degré d'efficacité des installations, de concert avec le développement technique des pompes à chaleur, au point de réduire les besoins en électricité en hiver. Les calculs se basent en conséquence sur un coefficient de performance annuel de 5 en 2050. Cela signifie qu'un kWh d'électricité permet d'obtenir 5 kWh de chaleur.

Chaleur résiduelle

La chaleur résiduelle devrait être exploitée dès qu'elle atteint une température de 50 °C ou plus. Les sources idéales sont les usines d'incinération des déchets ménagers et la chaleur résiduelle des processus industriels. En phase de transition, la chaleur résiduelle des installations de couplage chaleur-force jouera en particulier un rôle essentiel. Dans le cas des installations CCF, il convient de veiller à ce que leur exploitation soit thermorégulée. Cela signifie qu'une possibilité d'utilisation de la chaleur résiduelle existe.

28 Ecoplan (2013) www.efv.admin.ch/e/downloads/finanzpolitik_grundlagen/els/Ecoplan_2013_e.pdf;
WTI (2014), www.efv.admin.ch/e/downloads/finanzpolitik_grundlagen/els/Differentiated_Taxation_e.pdf?lang=de&msg-id=50122; WTI (2014), Implementing a Differentiated Electricity Tax through Renewable Energy Certificates
29 Office fédéral de l'énergie, Analyse de la consommation d'énergie en Suisse 2000 – 2012 en fonction de l'application: www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/02167/index.html?lang=de&rdossier_id=02169

30 Il faut toutefois tenir compte du fait que l'électricité ne peut être directement transformée en chaleur que lorsque des excédents sont disponibles. Une production de chaleur ayant recours à au moins 2 types de production est donc incontournable (p. ex. électricité directe et pompe à chaleur ou électricité directe et chaleur résiduelle, p.ex.)

31 Lorsque de nombreuses sondes géothermiques sont construites à proximité les unes des autres, la température de leur environnement baisse. C'est pourquoi les sondes géothermiques devraient servir, en été, à réchauffer à nouveau le sol environnant. A cet effet, on peut par exemple utiliser la chaleur résiduelle ou l'énergie solaire.
www.fws.ch/tl_files/download_d/2014-Stadt_Zuerich_SB_Erdsondenpotenzial.pdf

Réseaux de chaleur

Dans les villes en particulier, la répartition de la chaleur par les réseaux de chaleur à distance doit jouer un rôle primordial. Dans les villes-centres, les possibilités de réduire la consommation d'énergie de chauffage grâce à une meilleure isolation sont limitées, en raison des contraintes architecturales.

A l'avenir, on trouvera donc dans les villes de nombreuses zones présentant une densité énergétique relativement élevée.³² L'utilisation de chauffages à combustion fossile n'étant autorisée qu'à titre exceptionnel pour des raisons de protection du climat, l'approvisionnement en chaleur doit être assuré différemment. Pour de tels bâtiments, des installations de pompes à chaleur simples n'entrent pas en ligne de compte. Dans ces régions, la chaleur doit donc être transportée dans des conduites. Les réseaux de chaleur à distance et énergétiques s'y prêtent bien.

Les réseaux de chaleur à distance sont exploités à un niveau de température élevée (de 80 à 100 °C) et peuvent utiliser efficacement la chaleur résiduelle des centrales CCF. Dans un avenir lointain, ces réseaux pourront aussi être alimentés par la chaleur des forages géothermiques.

Les réseaux dits «anergie» répartissent l'énergie thermique, par exemple celle des lacs ou des eaux souterraines, dans une certaine zone et la mettent à disposition comme source de chaleur. Suivant leur conception, les réseaux anergies permettent aussi d'utiliser la chaleur basse température des processus, p. ex. des centres de calcul, et même en partie de la stocker temporairement à un rythme saisonnier.³³

7.3 SOURCES D'ÉNERGIE POUR L'ÉLECTRICITÉ ET LA CHALEUR DU COUPLAGE CHALEUR-FORCE

Biomasse

Les produits issus de la biomasse³⁴ ont le grand avantage de pouvoir être stockés. De la sorte, la biomasse joue un rôle important dans l'équilibrage saisonnier de l'offre et de la demande énergétique. La biomasse ne doit cependant qu'être utilisée de sorte à éviter de nuire à la biodiversité et à la fertilité des sols. La production de denrées alimentaires et l'utilisation de matériaux de qualité comme le bois doivent, de manière générale, être prioritaires. L'exploitation énergétique des déchets est au

premier plan. Il convient cependant de veiller à ne pas seulement utiliser l'énergie de la biomasse, mais aussi les oligo-éléments qui s'y trouvent.

L'utilisation de la biomasse doit être de la meilleure qualité possible. La combustion directe de biomasse sèche comme le bois en vue de produire de la chaleur dans les immeubles d'habitation n'aura donc plus lieu qu'à titre exceptionnel en 2050. A l'avenir, la biomasse sèche sera utilisée de deux manières: 66% serviront à produire de l'énergie de processus, des températures entre 100 et 350 °C étant ici au premier plan. Le reste servira à alimenter la conversion en électricité dans les centrales à biomasse.³⁵

La biomasse humide fera l'objet d'une récolte et d'une utilisation conséquentes. La procédure standard est actuellement la production de biogaz, transformé en électricité. D'autres procédés comme la carbonisation hydrothermale, sont en concurrence et représentent des alternatives intéressantes. Le point décisif est le découplage temporel et local de la production de l'agent énergétique et de l'utilisation. Ce n'est qu'ainsi qu'il sera possible d'utiliser l'électricité et la chaleur de manière optimale.

Le biogaz produit doit par exemple être injecté au réseau de gaz naturel et remplacer le gaz naturel fossile, le transformant en dispositif de stockage. Dans le modèle énergétique Cleantech, le biogaz est traité comme crédit pour la réduction des émissions de CO₂ dans le calcul des émissions de carbone de la Suisse.

Dans l'évaluation de l'utilisation optimale de la biomasse, il convient également de déterminer si un procédé est établi dans le but de récupérer des substances précieuses, comme les oligo-éléments. *dern auch die Spurenelemente in der Biomasse genutzt werden.*

Géothermie

La géothermie, en particulier la géothermie dite pétrothermale,³⁶ est en mesure de fournir une énergie pratiquement inépuisable. Ce procédé étant encore à ses débuts, nous comptons que sa contribution sera plutôt modeste d'ici 2040. La phase de croissance de la géothermie en Suisse devrait démarrer à partir de 2040.

La principale application de la géothermie réside dans l'approvisionnement en chaleur des grandes agglomérations (voir plus haut).

³² La densité énergétique est la puissance calorifique nécessaire par hectare. Voir également à ce sujet l'analyse du Dr Eicher + Pauli AG (Markus Erb, Stephan Gutzwiller & Urs Kaufmann) (2012), *Fossile BHKW – Potenzial und Standortevaluation im Rahmen der Entwicklung der BFE WKK-Strategie*

³³ TEC 21, *Klimafreundliches Bauen geht in den Untergrund*, retro.seals.ch/cntmng?pid=sbz-004;2011:137::3902

³⁴ Comme le biogaz, les pellets, les copeaux de bois, le charbon actif ou autre élément similaire

³⁵ Le rendement des installations CCF exploitées au bois est relativement faible. Le bilan global est donc optimisé lorsque le gaz naturel est remplacé par le bois dans les chauffages pour la production d'énergie de processus, tandis que l'installation CCF est exploitée au gaz.

³⁶ Dans le cas de la géothermie pétrothermale, l'énergie est extraite de la roche sèche. Pour la géothermie hydrothermale, une nappe d'eau profonde doit être présente. La géothermie pétrothermale serait donc utilisable à une bien plus large échelle.

Pour qu'elle puisse jouer un rôle dans l'approvisionnement en électricité, l'eau pompée doit être la plus chaude possible.³⁷ Cette caractéristique exige des forages en profondeur ou des forages dans des zones géologiquement instables. La première solution accroît les coûts, la deuxième le risque de secousses géologiques. Il vaut donc la peine de se demander si, dans le cas de la géothermie, il ne serait pas plus judicieux de mettre l'accent sur l'exploitation de la chaleur.

swisscleantech est d'avis qu'une trop grande importance est attribuée aux risques liés à la géothermie. Le procédé présente d'importants parallèles avec l'exploitation des sources fossiles, tant en matière de technologie de forage que de méthode de fracturation de la roche-mère. Ces technologies ont fait leurs preuves, ce qui ne les empêche pas d'entraîner un risque de tremblements de terre lorsque l'opération de forage touche des couches géologiques sous tension. Les expériences accumulées dans l'extraction du gaz et du pétrole montrent cependant que de tels événements sont rares lorsque les travaux sont précédés d'une analyse sérieuse de la situation géologique. Le risque peut par ailleurs être réduit par le développement de la technique de forage et de la disposition des puits de forage.³⁸

Il est également nécessaire de tenir compte du fait que la géothermie profonde peut en partie conduire au développement de minéraux toxiques en surface. Le traitement correct de ces substances doit être assuré au moyen de procédés adéquats.

Usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM)

L'incinération des déchets reste une source intéressante, mais limitée, d'énergie. Les potentiels énergétiques des UIOM doivent donc être exploités de manière optimale. L'utilisation par le biais du couplage chaleur-force devrait être au premier plan, afin que l'électricité et la chaleur résiduelle soient disponibles. À l'avenir, l'exploitation des UIOM doit davantage dépendre des saisons, afin de leur permettre de contribuer davantage à l'approvisionnement énergétique en hiver.

7.4 ENERGIES FOSSILES: DAVANTAGE DE GAZ, MOINS DE PÉTROLE

De manière générale, les agents énergétiques fossiles doivent être évités lorsque c'est possible.

Pourtant, l'énergie fossile continuera de jouer un rôle à l'avenir. La Stratégie énergétique Cleantech limite toutefois la consommation à une valeur permettant d'atteindre l'objectif d'une tonne d'émissions de gaz à effet de serre par personne et par année en 2050. Étant donné que d'autres gaz climatiques doivent être pris en considération et qu'il faut en outre compter un montant supplémentaire pour le trafic aérien, le budget par personne est de 0,5 million de tonnes de CO₂ issues d'agents énergétiques fossiles. Cela signifie, dans le même temps, que la consommation d'énergie de sources fossiles peut être accrue si l'utilisation du gaz augmente et celle du pétrole diminue, la combustion de gaz produisant moins de CO₂ que celle du pétrole. En raison des avantages indiscutables du pétrole en matière d'utilisation, nous partons toutefois du principe que ce dernier continuera d'être utilisé. Le rapport entre pétrole et gaz est donc équilibré. Aujourd'hui, la part du gaz n'est que de 20%.

En raison du changement climatique, le fracking n'est pas une solution judicieuse pour l'approvisionnement énergétique.³⁹ Même l'IEA (2012)⁴⁰ part du principe que deux tiers de toutes les ressources fossiles doivent rester intactes si l'on veut respecter l'objectif de 2 degrés. Les explorations de nouveaux gisements sont donc des «Stranded Investments».

7.5 POWER TO GAS: UN POTENTIEL D'AVENIR

En raison des fluctuations, la production des énergies renouvelables n'est disponible, pour l'essentiel, que lorsque les besoins directs sont inexistantes. Cette électricité est en premier lieu stockée dans des batteries et des lacs de retenue. À long terme, la conversion électrochimique en hydrogène et en gaz naturel jouera un rôle dans ce contexte. Le réseau de gaz naturel peut servir, à cet effet, de dispositif de stockage naturel et saisonnier. La réalisation technique de ce stockage est également avérée. Reste à résoudre les questions délicates de l'efficacité des coûts.

³⁷ Le degré d'efficacité est proportionnel à la différence des températures trouvées.

³⁸ Si, en lieu et place de deux forages verticaux placés à distance l'un de l'autre, deux forages coudés en profondeur sont effectués à proximité l'un de l'autre, la stimulation du sous-sol nécessite nettement moins d'énergie. Si l'on parvient en outre à éviter les formations de roches critiques, déjà sous tension, les secousses en surface peuvent être évitées, à l'exception de micro-tremblements non problématiques.

³⁹ Le fracking n'est pas non plus intéressant sur le plan commercial, puisque même les meilleures sources de fracking voient leur production diminuer de 80% après trois ans: Siper, SES (2014), Fossile Schweiz. Ce point n'est toutefois pas la raison principale pour laquelle swisscleantech rejette le fracking.

⁴⁰ IEA, World Energy Outlook (2012): «No more than one-third of proven reserves of fossil fuels can be consumed prior to 2050 if the world is to achieve the 2 °C goal.»

Figure 8
Utilisation de la biomasse en Suisse

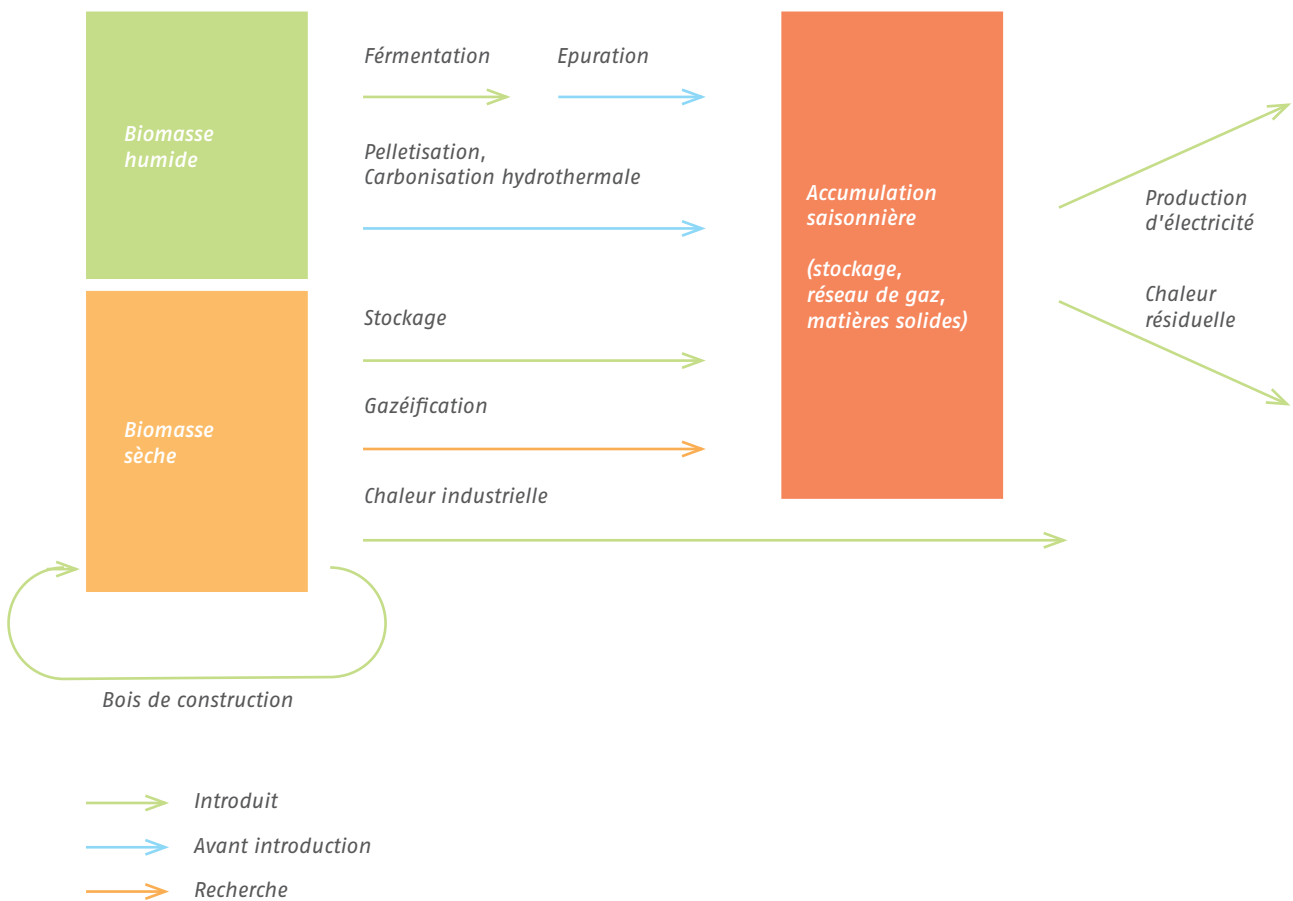


Figure 9
Développement de l'approvisionnement final en Suisse jusqu'en 2050

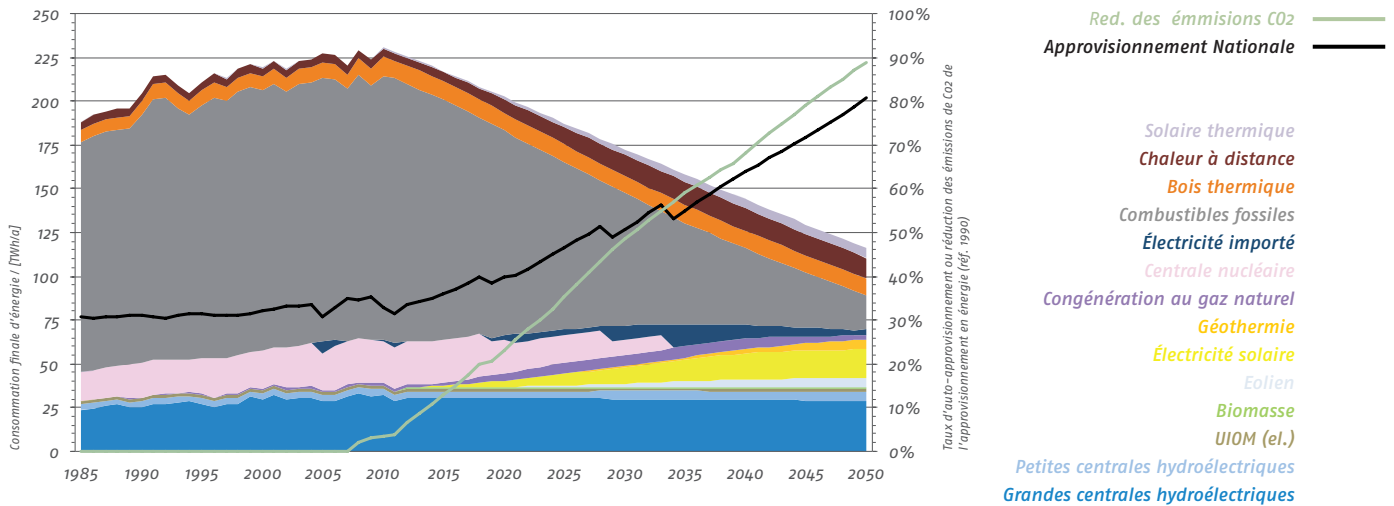


Tableau 4
Utilisation des sources d'énergie en fonction de leur efficacité énergétique

		Sources								
		Bois	Biomasse humide	Energie solaire	Eolien	Hydraulique: Centrale au fil de l'eau	Hydraulique: pompage-turbinage	Chaleur ambiante	Ordures	Energies fossiles
Efficacité	Stockage (saisonnier)		Réseau de gaz naturel	Power to Gas			Lacs de retenue		Stockage	
	Stockage (semaines)				Lacs de retenue		Lacs de retenue et pompage			
	Stockage (heures)			Batteries à air comprimé	Lacs de retenue					
	Electricité	Avec utilisation de la Chaleur résiduelle	Avec utilisation du réseau de gaz naturel						Avec utilisation de la Chaleur résiduelle	Avec utilisation de la Chaleur résiduelle
	Energie mécanique			Mobilité						Mobilité
	Chaleur industrielle à haute température									Avec utilisation de la chaleur résiduelle
	Chaleur industrielle à température moyen	Huile thermique/ Vapeur							Vapeur	Chaleur résiduelle issue du CCF
	Energie de chauffage	Chaleur résiduelle	Chaleur résiduelle	Eau chaude				Avec pompe chaleur	Chaleur et chaleur résiduelle	Chaleur résiduelle

Utilisation secondaire

Utilisation primaire

Efficacité énergétique (en foncé = valeur élevée)

Tableau 5
Développement de l'approvisionnement final en Suisse jusqu'en 2050

	2010		2020		2030		2035		2040		2050	
Population [millions d'habitants]	7.8		8.4		8.7		8.8		8.9		9.0	
Consommation finale d'énergie [TWh]: augmentation réaliste de l'efficacité	230.3		202.4		172.6		158.4		143.8		116.2	
Consommation d'électricité [TWh]: légère augmentation	60		66		72		72		72		70	
Consommation par personne [KWh]: société des 3500 W en 2050	29000		24000		20000		18000		16000		13000	
Auto-approvisionnement: réduction de la dépendance vis-à-vis de l'étranger	33%		40%		51%		55%		64%		81%	
Emissions de CO ₂ (base 1990): réduction de 20% en Suisse d'ici 2020	3.6%		23.1%		48.5%		59.0%		68.2%		88.8%	
Composition de la consommation finale d'énergie	[TWh]	[%]	[TWh]	[%]	[TWh]	[%]	[TWh]	[%]	[TWh]	[%]	[TWh]	[%]
Energies fossiles: décarbonisation	151.0	65.6%	117.2	57.9%	75.4	43.7%	58.0	36.6%	43.7	30.4%	19.4	16.7%
Energie nucléaire: sortie contrôlée	23.8	10.4%	19.0	9.4%	8.6	5.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
Energies renouvelables: augmentation de près de 75%	53.8	23.4%	60.8	30.0%	76.3	44.2%	83.9	53.0%	88.7	61.7%	93.7	80.6%
Centrales à cycle combiné au gaz naturel: technologie de transition	1.1	0.5%	3.1	1.5%	3.8	2.2%	4.0	2.5%	3.7	2.6%	0.0	0.0%
Importations d'électricité: qualité élevée	0.5	0.2%	2.3	1.2%	8.4	4.8%	12.4	7.8%	7.6	5.3%	3.1	2.7%
Total	230.3	100.0%	202.4	100.0%	172.6	100.0%	158.4	100.0%	143.8	100.0%	116.2	100.0%
Composition des énergies renouvelables	[TWh]	[%]	[TWh]	[%]	[TWh]	[%]	[TWh]	[%]	[TWh]	[%]	[TWh]	[%]
Grandes centrales hydrauliques: constant, sans nouvelle centrale à accumulation par pompage	32.06	13.9%	30.39	15.0%	29.98	17.4%	29.73	18.8%	29.46	20.5%	28.80	24.8%
Solaire: exploiter le potentiel, essentiellement les surfaces de toits	0.09	0.0%	3.53	1.7%	9.57	5.5%	12.66	8.0%	14.98	10.4%	16.38	14.1%
Réseaux de chauffage urbain: utilisation de la chaleur résiduelle	4.68	2.0%	7.59	3.8%	11.73	6.8%	13.43	8.5%	12.72	8.8%	11.54	9.9%
Bois thermique: chaleur industrielle (aujourd'hui: chauffage)	10.91	4.7%	10.41	5.1%	10.27	6.0%	10.20	6.4%	10.14	7.0%	10.00	8.6%
Petites centrales hydrauliques: sélectivement (biodiversité)	3.50	1.5%	3.97	2.0%	4.46	2.6%	4.70	3.0%	4.85	3.4%	4.91	4.2%
Géothermie: à développer, disponible à partir de 2030	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.19	0.1%	0.92	0.6%	2.40	1.7%	5.88	5.1%
Eolien: sélectivement (protection des paysages)	0.04	0.0%	0.39	0.2%	1.97	1.1%	2.99	1.9%	3.97	2.8%	5.18	4.5%
Centrales à cycle combiné au biogaz: sélectivement (biodiversité)	0.28	0.1%	1.13	0.6%	2.47	1.4%	2.45	1.5%	2.43	1.7%	2.38	2.0%
UIOM: constant (50% renouvelable)	1.73	0.8%	1.71	0.8%	1.69	1.0%	1.67	1.1%	1.66	1.2%	1.62	1.4%
Biomasse électriifiée: sélectivement (biodiversité)	0.17	0.1%	0.37	0.2%	0.70	0.4%	0.91	0.6%	1.02	0.7%	1.29	1.1%
Solaire thermique: eau chaude	0.40	0.2%	1.27	0.6%	3.31	1.9%	4.26	2.7%	5.12	3.6%	5.69	4.9%
Total	53.8	23.4%	60.8	30.0%	76.3	44.2%	83.9	53.0%	88.7	61.7%	93.7	80.6%

7.6 ENERGIE NUCLÉAIRE

La sortie programmée du nucléaire doit recevoir une réponse dans le cadre d'une stratégie énergétique globale. L'évaluation complète des coûts calculables (assurance en cas d'accident impliquant un fort dégagement de radioactivité ⁴¹, arrêt, démantèlement, stockage final) entraîne une augmentation significative du prix de l'électricité nucléaire.⁴² Si l'on prend par ailleurs en compte les exigences de sécurité croissantes imposées aux centrales nucléaires, celles-ci ne seront pratiquement plus compétitives à l'avenir. De surcroît, les analyses externes des rapports d'activité des centrales nucléaires suisses montrent que leur intérêt pour l'économie du pays et leur rentabilité ne sont pas démontrés.⁴³

Les coûts de l'énergie nucléaire augmentent, en parfaite opposition à ceux des énergies renouvelables, qui deviendront rapidement plus avantageuses grâce aux économies d'échelle. Le risque résiduel d'un accident nucléaire est par ailleurs inacceptable pour la Suisse, pays densément peuplé situé au cœur de l'Europe. Une étude de l'Office fédéral de la protection de la population OFPP évalue le préjudice maximum à 4200 milliards de francs.⁴⁴ Nous propageons donc une sortie programmée et économiquement supportable du nucléaire.

⁴¹ Le Parlement a défini la somme assurée à 1,8 milliard de francs en 2008. En cas de libération massive de radioactivité, ce montant est insuffisant (facteur 55 au moins). Les dommages directs sont en effet évalués à 100 milliards de francs: www.handelszeitung.ch/konjunktur/schweizer-wirtschaft-wuerde-super-gau-kaum-verkraften

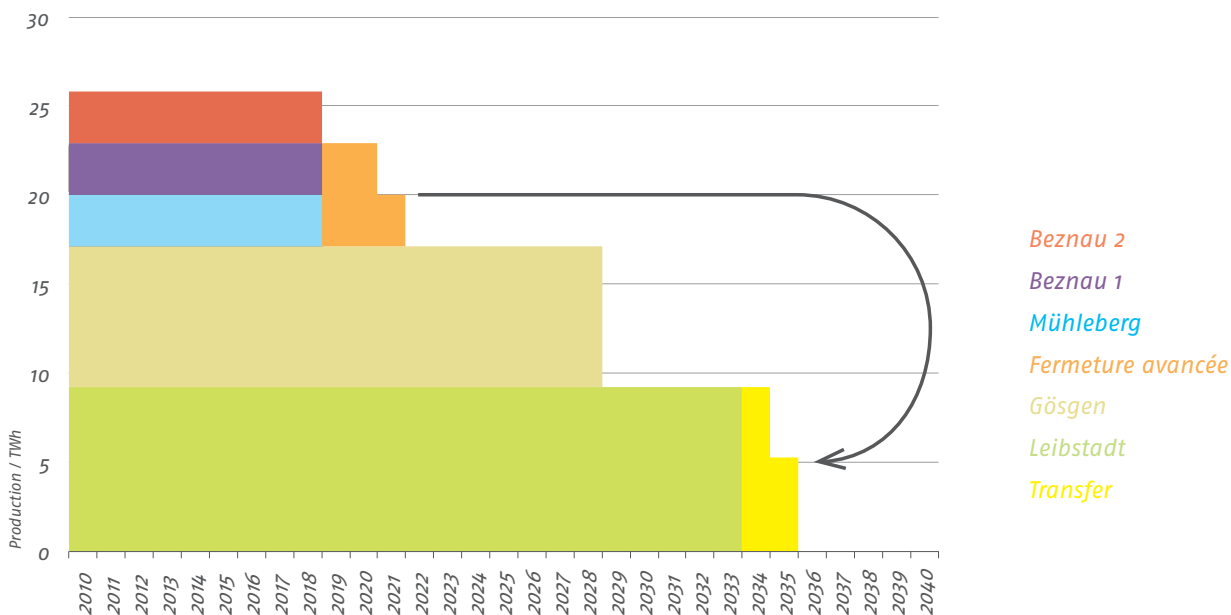
⁴² SES (2013), coûts complets de l'énergie nucléaire: www.energiestiftung.ch/files/downloads/energiethemen-atomenergie-kosten/01_ses_studie_atomvollkosten.pdf

⁴³ Müller, Kaspar (2012): Analyse externalisierter Kosten sowie der finanziellen Risiken der Energieversorgung. Conférence lors du congrès Pusch du 4 septembre 2012.

⁴⁴ www.weltwoche.ch/ausgaben/2001-41/artikel-2001-41-ploetzlich-ist-d.html

Figure 10

En raison des différences de performances, les 7 années d'exploitation reportées de Mühleberg et Beznau 1 (orange) correspondent à 1,5 année d'exploitation supplémentaire à Leibstadt (jaune). On part ici du principe que toutes les centrales ont une durée de vie de 50 ans. Toutes les anciennes installations seront arrêtées en 2019. Cette représentation est donnée à titre d'exemple. Les durées d'exploitation effectives ainsi que les déplacements doivent être négociés entre les parties prenantes.



Durée de fonctionnement résiduelle des centrales nucléaires

Pour que le tournant énergétique puisse être réalisé de manière optimale, il est important de connaître quelle quantité de courant produite par les centrales nucléaires est disponible et à quel moment elle l'est. De cette manière, les investissements dans la sécurité des centrales nucléaires ainsi que dans de nouvelles infrastructures peuvent être planifiés de manière optimale. À l'aide du modèle énergétique, swisscleantech a donc élaboré, en 2013, un plan de route pour l'arrêt des centrales nucléaires suisses.

Ce plan réduit le risque résiduel présenté par les centrales nucléaires en Suisse de 40%, pour une quantité de production globale inchangée. L'idée fondamentale est que les exploitants des centrales nucléaires s'entendent pour arrêter plus tôt les anciennes centrales, présentant un niveau de sécurité faible. En contrepartie, les exploitants auront le droit d'exploiter plus longtemps les nouvelles centrales, présentant moins de risques. Les propriétaires des centrales étant variés, les indemnités pour le manque de production doit être réparti entre

eux par le transfert des contingents de production. Dans l'ensemble, un tel report de production entre anciennes et nouvelles centrales doit être profitable à l'exploitation comme à l'économie. Un atout décisif est, outre la nette réduction du risque résiduel, l'amélioration de la sécurité de l'approvisionnement durant les semestres d'hiver critiques de 2035 à 2040. Conformément aux calculs de swisscleantech en effet, les énergies renouvelables seront encore disponibles en quantités un peu justes à cette période, de sorte que la part des importations nécessaires sera relativement importante.⁴⁵

Une première étape décisive serait un signal clair du monde politique indiquant qu'un plan définitif pour l'arrêt des centrales nucléaires constitue la solution optimale en matière de sécurité de la planification et de l'approvisionnement. La décision du groupe BKW de débrancher Mühleberg du réseau en 2019 doit donc être saluée.

⁴⁵ www.swisscleantech.ch/fileadmin/content/POL/SCA_POL_Kompromiss_KKWLaufzeitregelung_DE.pdf

Tableau 6
Plan d'abandon des centrales nucléaires

(conformément à la position du conseil fédéral et de la décision de BKW, sur la base d'une durée de fonctionnement maximale de 50 ans)

	BEZNAU 1	BEZNAU 2	MÜHLEBERG	GÖSGEN	LEIBSTADT
MIS EN SERVICE	1969	1971	1972	1979	1984
DURÉE DE FONCT.	50	50	47	50	50
ARRÊT	2019	2021	2019	2029	2034

8. DISTRIBUTION ET STOCKAGE INTELLIGENTS

8.1 RÉSEAU ÉLECTRIQUE

Le réseau joue un rôle décisif pour la mise en œuvre de la stratégie énergétique Cleantech. Avec la disparition partielle de l'énergie en ruban et l'ajout d'énergie «nerveuse» (arrivant à des moments différents) d'origine suisse et étrangère, le réseau électrique helvétique doit répondre à des exigences supplémentaires en matière de flux électrique. Si les consommateurs actuels veulent aussi devenir producteurs à l'avenir, le courant doit désormais pouvoir circuler dans les deux sens. Ces possibilités doivent être de plus en plus répandues en Suisse à partir de 2030. Les investissements nécessaires dans les infrastructures doivent donc être réalisés rapidement.

Libre circulation dans les deux sens entre les niveaux du réseau

Alors que, jusqu'à présent, le courant ne circulait essentiellement que dans un seul sens – de la haute vers la basse tension – il doit, dans un nouvel environnement caractérisé par un grand nombre de petits producteurs, pouvoir circuler sans obstacle et dans les deux sens entre les différents niveaux du réseau.

Connexion internationale optimisée

A moyen terme, les capacités de production d'énergie renouvelable les plus diverses seront disponibles en Europe. Celles-ci se répartissent parfois irrégulièrement, ce qui ouvre des opportunités économiques intéressantes à long terme pour les exploitants de centrales à accumulation par pompage et de centrales à accumulation suisses.

Il est déjà possible, aujourd'hui, en période de pointe, d'acheter du courant d'origine éolienne à peu près gratuitement à la bourse de l'électricité. Être capable de proposer cette énergie en différé, c'est profiter de prix élevés. L'industrie helvétique de l'électricité ne peut exploiter pleinement ses atouts – grande flexibilité grâce à la capacité des centrales de pompage et d'accumulation par pompage – que si les connexions internationales sont capables d'absorber une puissance suffisamment forte. Pour cela, la connexion d'une infrastructure de régulation et d'accumulation au réseau doit être optimale. La Suisse a donc besoin de s'impliquer de manière proactive

dans les projets internationaux de réalisation de réseaux à haute tension à courant continu (TECC, en anglais HVDC). En particulier, compte tenu de l'emplacement géographique des capacités de production d'électricité et des potentiels renouvelables, une liaison nord-sud, de l'Allemagne (mer du Nord) à l'Italie, est pour la Suisse d'une importance capitale. C'est pourquoi il est nécessaire de supprimer les goulets d'étranglement actuels, en particulier au centre de l'Allemagne et en Bade du Sud, afin que le courant excédentaire produit par les installations éoliennes puisse être valorisé en Suisse.

Équilibrage local du réseau grâce à la smartgrid et au stockage local

Une injection irrégulière nécessite une plus grande capacité de régulation. Si celle-ci est réalisée dans les zones habitées, où les installations photovoltaïques et la consommation en différé se côtoient, cela peut contribuer à réduire le développement du réseau aux niveaux supérieurs de celui-ci ou même l'empêcher. En plus de réduire les coûts de développement, cela permet à la Suisse d'optimiser encore sa fonction d'accumulateur au niveau européen, en stockant aussi localement l'excédent de la production éolienne et en libérant les centrales à accumulation et à pompage-turbinage pour l'énergie de réglage et la gestion des goulets d'étranglement.

Cette fonction de tampon exercée par les installations de stockage décentralisées doit en outre être soutenue par des consommateurs et des installations de production gérables de manière flexible, pouvant être déclenchés en cas de production excédentaire. Si cette flexibilité a un prix, de nouveaux modèles d'affaires peuvent surgir dans le secteur de la gestion de la demande d'énergie (Demand Side Management). Un mélange efficace au niveau des coûts, constitué de développement du réseau, stockage intermédiaire local, producteurs et consommateurs déclenchables peut ainsi se développer. Ce potentiel ne peut néanmoins être pleinement mis à profit que si les centrales au charbon qui existent déjà aujourd'hui cessent peu à peu, pour des raisons liées à la protection du climat, de produire en ruban.

Marché ouvert, tarification flexible

Cette transformation est soutenue par une flexibilisation maximale de la tarification. Pour ce faire, il ne faut pas se contenter de flexibiliser la taxe d'utilisation du réseau en fonction des goulets d'étranglement (autres moments de la journée, autres tarifs), il convient également d'adapter le prix de production aux conditions d'approvisionnement du moment. Les tarifs de facturation doivent donc être déterminés et appliqués à intervalles significativement plus courts et le prix de l'électricité calculé doit être plus proche de celui du marché.

Les prix doivent également être adaptés aux exigences à l'égard de la sécurité de l'approvisionnement. Tous les utilisateurs ne dépendent pas, dans la même mesure, d'un approvisionnement permanent. Les dégâts provoqués par une interruption de courant sont nettement plus importants dans une entreprise industrielle que chez un particulier. Les consommateurs prêts à renoncer à une certaine sécurité doivent être récompensés par des tarifs plus avantageux. Des nouvelles conditions cadre et un marché de l'électricité permettant à tous les groupes de clients de choisir librement et d'avoir accès aux fournisseurs en est la condition nécessaire.

8.2 STOCKAGE

Intégrer le stockage à court terme décentralisé (heures à jours)

deux jours au maximum. Les équipements de stockage à court terme étant principalement utiles pour les installations solaires décentralisées, il est judicieux que leur implantation soit, elle aussi, décentralisée. Actuellement, c'est la batterie qui constitue le mode de stockage privilégié, mais d'autres technologies peuvent être utilisées à titre complémentaire. Le stockage décentralisé accompagné du raccordement ciblé des consommateurs à alimentation temporellement flexible permet un important délestage sur le niveau le plus bas du réseau, comprime les coûts d'extension et réduit les besoins en énergie de régulation aux niveaux de tension supérieurs. Le stockage à court terme peut être financé grâce à des modèles de rétribution différenciée dans le temps.

Les batteries des véhicules électriques pourraient, en particulier, jouer un rôle important dans ce contexte. Ces batteries sont disponibles pendant une grande partie de la journée et pourraient alors servir de solution de stockage temporaire.

Les batteries coûtent encore cher, de sorte que l'exploitation n'est généralement pas rentable. Ces prochaines années toutefois, de grandes quantités de batteries seront mises en service qui n'auront pas, pour but premier, de stocker l'électricité. Il en résultera une forte dégression des coûts, et donc des prix. Le stockage à court terme de l'électricité dans les batteries pourrait ainsi coûter quelque 6 ct/kWh en 2030.⁴⁶

⁴⁶ P. ex. installations pour l'alimentation électrique sans coupure (ASC), piles

Stockage quotidien et hebdomadaire – exploitation active des lacs de retenue

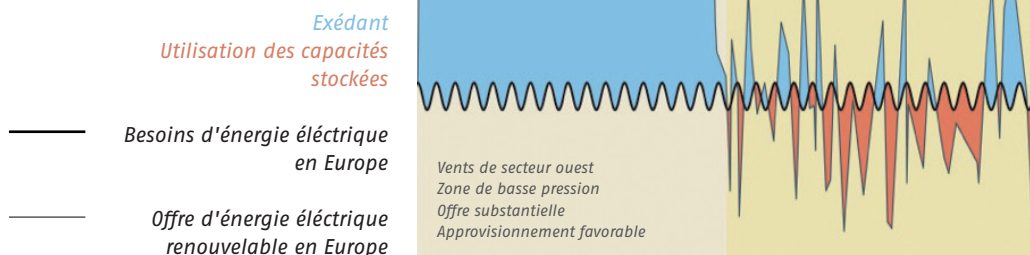
Comme indiqué précédemment, le potentiel de l'énergie éolienne est notable en Europe. Aujourd'hui déjà, le réseau européen connaît des phases où l'offre de courant éolien est plus importante que le besoin actuel. Cette électricité est alors disponible à des tarifs avantageux. Pour les centrales de pompage-turbinage, un nouveau champ d'activités s'ouvre ainsi. Elles peuvent en effet utiliser ce courant excédentaire pour pomper l'eau dans les lacs de retenue avant de la libérer à nouveau lorsque la demande est importante. Une exploitation plus active des lacs de retenue offre cependant un potentiel plus important encore. Si le secteur suisse de l'électricité fait en sorte de n'utiliser les lacs de retenue pour la production d'électricité que lorsque l'offre est limitée sur le réseau européen, le «réseau suisse» pourra mettre à la disposition du réseau européen une réserve de stabilité d'environ 10 GW.

Stockage saisonnier et courant hivernal

En raison de ces réflexions sur l'offre d'électricité d'origine éolienne en Europe, swisscleantech part du principe qu'il n'existe pas de besoin pour des possibilités de stockage saisonnières supplémentaires sous forme de nouveaux lacs de retenue. Considérant les oppositions que de tels projets susciteraient, ils seraient de toute manière très difficiles à réaliser. Les prévisions en matière de courant excédentaire ne permettent toutefois pas d'exclure que des projets de nouveaux lacs de retenue soient tout de même développés et réalisés. Nous jugeons cependant que les centrales de pompage-turbinage actuellement en phase de planification sont judicieuses, pas dans le but d'un stockage saisonnier, mais en vue d'un stockage quotidien ou hebdomadaire. La question de savoir si d'autres projets doivent être réalisés ou non, ainsi que les aspects de la protection des paysages et de la biodiversité doivent cependant aussi être pris en considération.

Figure 11
Stockage temporaire de l'énergie éolienne dans les lacs de retenue

L'énergie éolienne est fortement tributaire des conditions météorologiques. Au rythme d'une à deux semaines, les périodes de forte production éolienne alternent avec des périodes de production moindre. L'excédent des phases de production éolienne importante (côté gauche) est idéal pour un stockage temporaire dans les lacs de retenue, qui vont le libérer en période de faiblesse de l'offre de courant éolien (côté droit). La condition est toutefois que le développement de l'énergie éolienne se poursuive à l'étranger.⁴⁷



⁴⁷ Le potentiel éolien technique limité en 2030 est, avec 42 500 TWh, huit fois plus important que la consommation européenne durant la même année. Le potentiel éolien technique limité est le résultat du potentiel éolien technique après déduction de toutes les surfaces classées comme étant à protéger dans «Natura 2000» et la «Common Database on Designated Areas»: European Environment Agency (2008), Europe's onshore and offshore wind energy potential

L'approvisionnement en électricité en hiver

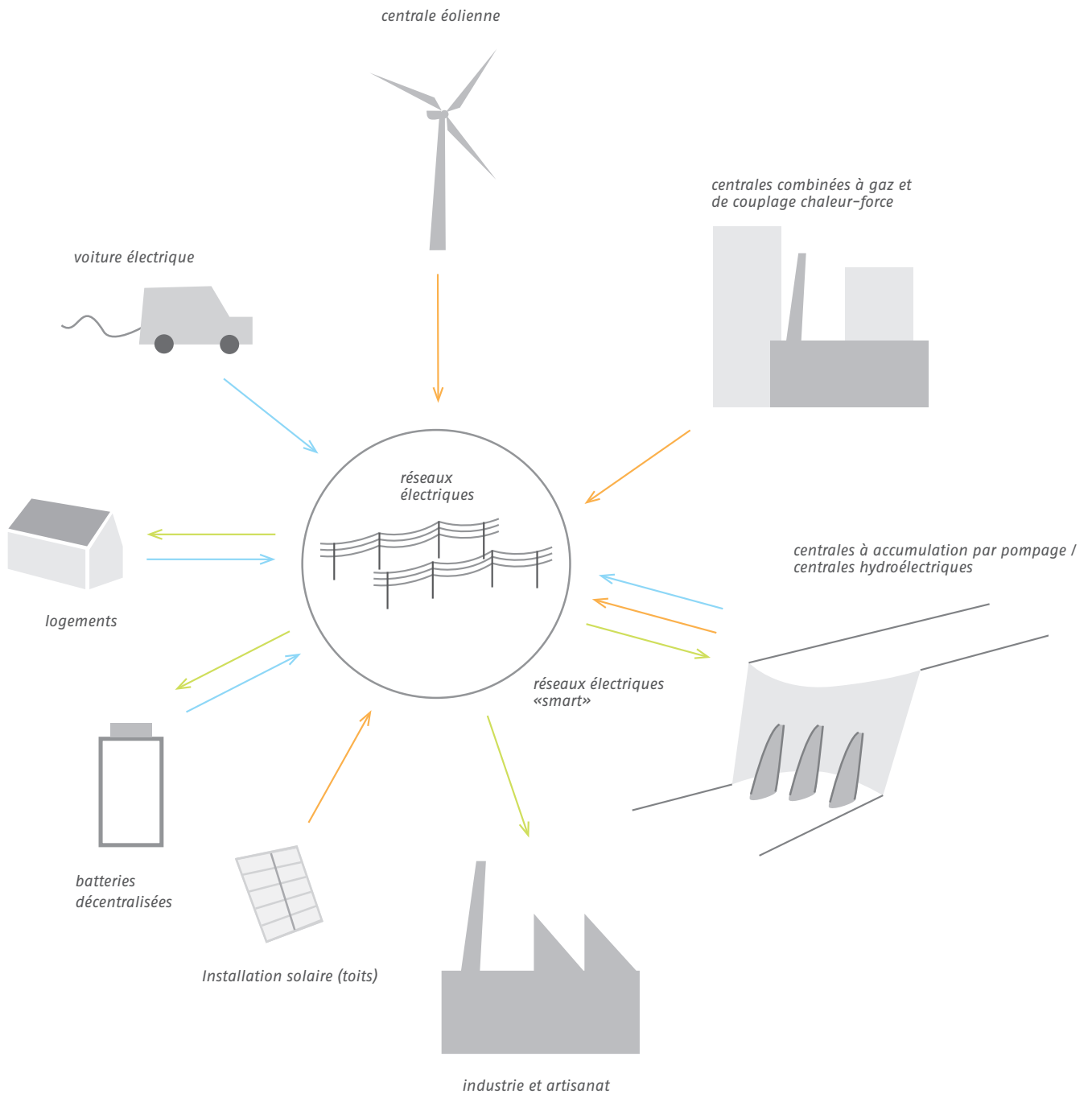
La sécurité de l'approvisionnement énergétique est déterminante pour l'économie suisse. C'est pourquoi la Stratégie énergétique Cleantech s'intéresse à la répartition annuelle de la consommation et de la production d'électricité. En suisse, l'offre d'électricité solaire et éolienne est en particulier plus importante en été, tandis que le pic de la demande est atteint en hiver. Les mesures suivantes garantissent la mise à disposition d'une quantité de courant suffisante, aussi en hiver:

- *Développement du couplage chaleur-force piloté par la chaleur: il faut résolument implanter le chauffage urbain dans les zones à forte densité de raccordement. La chaleur nécessaire est à disposition dans les centrales CCF, dont l'exploitation est pilotée de manière conséquente par la chaleur. A long terme, ces installations fonctionneront avec des centrales géothermiques.*
- *Utilisation ciblée des lacs de retenue: les lacs de retenue sont vidés de préférence lorsque l'électricité est relativement rare (de décembre à mars). En conséquence, on importe surtout à l'automne et au printemps.*
- *Recours plus important à l'électricité solaire en hiver: un objectif réalisable avec des installations photovoltaïques dans les Alpes et sur les façades des bâtiments.*

De plus, la figure 12 intègre l'évolution, sous l'effet du changement climatique, des conditions de production dans les centrales au fil de l'eau: les hivers deviennent plus humides et les étés plus secs. Les véhicules hybrides rechargeables, à autonomie allongée («range extender»), peuvent permettre une certaine réduction, non encore prise en compte, de la consommation d'électricité l'hiver. Ces modèles combinent en effet une batterie à l'autonomie relativement réduite à un moteur à combustion. Ils peuvent ainsi fonctionner, à choix, exclusivement à l'électricité ou au carburant. En hiver, ils pourraient rouler davantage avec la technique d'autonomie allongée (carburant) et utiliser essentiellement le courant solaire en été.

Les importations offrent la possibilité de couvrir les besoins restants, ce qui sera tout particulièrement le cas sur septembre/octobre et février/mars/avril. Globalement, à l'horizon 2035 (l'année suivant l'arrêt de la dernière centrale nucléaire), il faudra importer environ 13 TWh. S'il s'avérait impossible, contrairement aux hypothèses énoncées ici, d'importer du courant provenant de sources renouvelables, une centrale à cycle combiné au gaz serait envisageable pour assurer l'approvisionnement (à l'intérieur du cadre prédéfini par la loi sur le CO₂). Celle-ci devrait être exploitée en blocs d'au moins 1 à 2 semaines, à un rendement optimal et en charge continue. Ses coûts de maintenance, son faible rendement en charge partielle et son incapacité à stocker les pics de production militent toutefois contre le recours à ce type d'installation pour la stabilisation du réseau.

Figure 12
Les producteurs et les consommateurs d'électricité assumeront des rôles variés à l'avenir



Les producteurs et les consommateurs d'électricité assumeront des rôles variés à l'avenir

Ces considérations laissent à penser que l'offre d'électricité sera suffisante en hiver, notamment sur la période de transition 2035-2050. Concernant le long terme, swisscleantech estime que l'électricité provenant des énergies renouvelables sera dans une large mesure disponible, y compris l'hiver, et que le potentiel électrique éolien sera considérable. Si ces deux potentiels sont mis à disposition plus rapidement que nous le supposons ici, on pourrait renoncer à utiliser les centrales CCF, mais pas, toutefois, la géothermie.

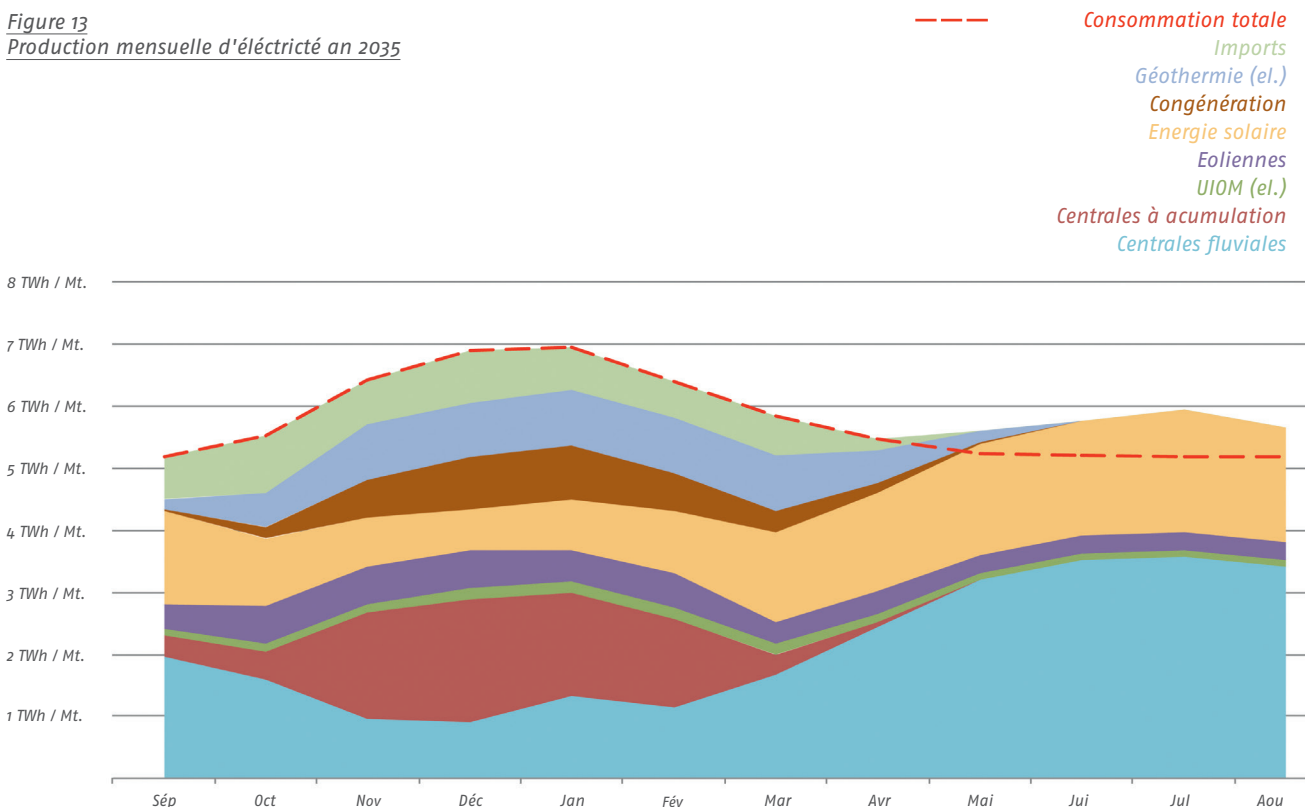
8.3 MARCHÉ ET MODÈLE DE MARCHÉ DE L'ÉLECTRICITÉ

Il apparaît toujours plus clairement que le modèle de marché de l'électricité actuel ne fonctionne pas de manière optimale pour un approvisionnement croissant à base de sources renouvelables. Depuis un certain temps, les prix baissent continuellement sur le marché de l'électricité et les prévisions du marché de l'électricité ne permettent pas d'identifier un futur retournement de situation. Le prix de l'électricité pour 2017, aujourd'hui négocié, est ainsi de 50 euros par MWh.⁴⁸ Dans le même temps, il est évident que ce prix ne permet pas de couvrir les coûts globaux d'une technologie de production, quelle qu'elle soit. Des coûts globaux typiques sont de l'ordre de 100 euros par MWh, les coûts externes n'étant pas pris en compte à ce stade.

Cette situation est problématique, tant sous l'angle de l'économie d'entreprise que sous celui de l'économie publique. Elle conduit au vieillissement des centrales nucléaires et à des impulsions erronées données à l'économie par les prix de l'énergie. Il ne sera toutefois pas possible de trouver une solution à ces défis spécifique à la Suisse. La solution doit être ancrée à l'échelle européenne. Les analyses exhaustives de swisscleantech indiquent

⁴⁸ Agora Energiewende (2013), calculateur des coûts de production de centrales à charbon, à gaz, éoliennes et solaires

Figure 13
Production mensuelle d'électricité an 2035



que la manière dont sont fixés les prix dans les bourses de l'électricité est responsable de ce phénomène. Cette situation devrait encore s'accroître avec la hausse de la part des énergies renouvelables. L'étude montre⁴⁹ que ce phénomène se produit indépendamment du type de régime d'encouragement.

Pour l'essentiel, la fixation des prix dépend des coûts variables de la technologie la plus onéreuse, qui sert encore à couvrir les besoins. Si la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité augmente, les situations au cours desquelles celles-ci déterminent le prix se font plus nombreuses. Les coûts variables des énergies renouvelables étant de 0 euros par MWh, la chute des prix de l'électricité s'explique aisément. Le rendement de tous les types de centrales en pâtit et les voix des producteurs s'élèvent pour qu'on les soutienne.

La réorganisation du marché de l'électricité n'est pas une tâche facile. Le fait que les meilleures solutions ne puissent être trouvées qu'au niveau européen constitue un défi particulier. L'électricité est en effet un bien négocié au sein d'un réseau cohérent, qui ne connaît pas de frontières. Pour la Suisse, il s'agit donc de prendre la bonne voie et de participer activement à la discussion européenne.

Les attentes à l'égard du tournant énergétique peuvent d'ores et déjà être définies.

Pour swisscleantech, il est décisif que le nouveau mo-

49 Document de fond de swisscleantech «Strommarkt, Strompreis und erneuerbare Energien»

dèle de marché de l'électricité émette les bons signaux tarifaires, afin de créer des impulsions en faveur d'un développement durable des énergies renouvelables et d'encourager l'utilisation efficace de l'énergie.

Le marché de l'électricité du futur doit donc, en premier lieu, refléter les coûts externes (en particulier ceux du CO₂). En second lieu, les coûts de production entiers doivent être intégrés à la définition des prix. Cela signifie que le refinancement des investissements par le biais du prix doit également refléter la flexibilité et la sécurité de l'approvisionnement. Dans une phase de transition, des mécanismes d'encouragement sont justifiés.

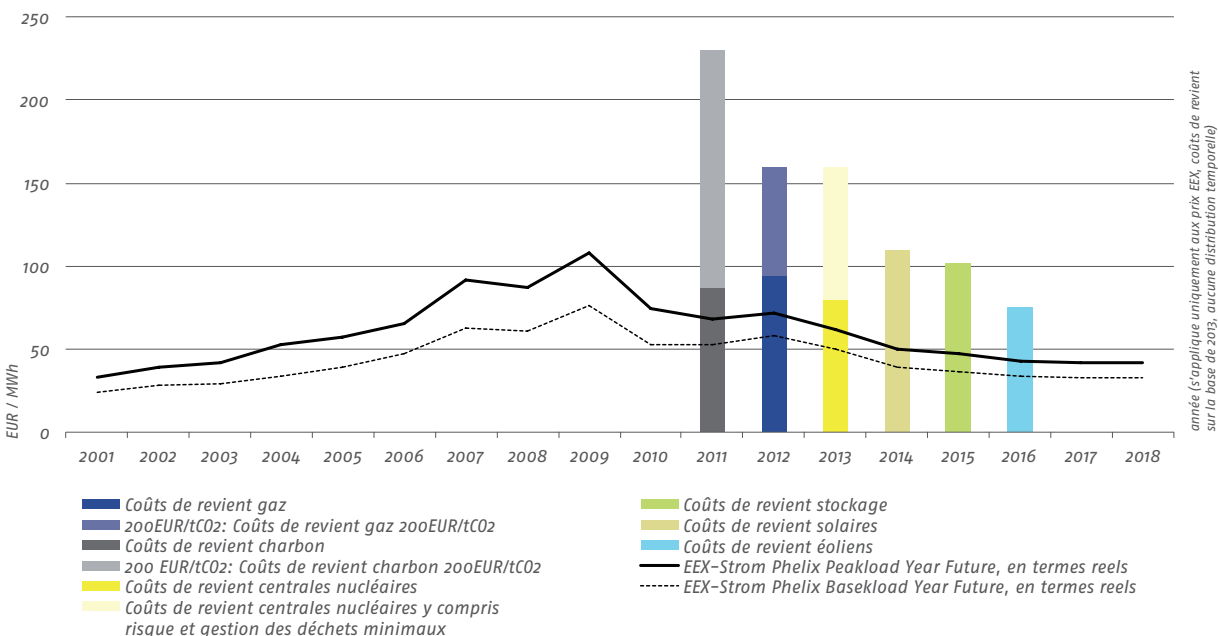
Depuis des années déjà, les coûts globaux⁵⁰ du gaz, du charbon, de l'énergie nucléaire, de l'énergie hydraulique, ainsi que de l'énergie éolienne et solaire ne sont pas couverts par les prix de gros.⁵¹ Si l'on tient compte des coûts externes du CO₂ pour les centrales à gaz et à charbon et d'un montant réaliste⁵² pour l'assurance-risque des centrales nucléaires (à la limite inférieure) et l'élimination, l'écart entre les coûts de production et les recettes possibles à la bourse de l'électricité se creuse encore davantage. Le graphique montre qu'il est, aujourd'hui déjà, nécessaire d'agir au plus vite en matière d'aménagement du marché de l'électricité.

50 Agora Energiewende (2013), calculateur des coûts de production de centrales à charbon, à gaz, éoliennes et solaires

51 www.eex.com

52 Fondation suisse de l'énergie (2013): ce que coûte réellement l'électricité d'origine nucléaire

Figure 14
Développement du prix de l'électricité et coûts complets de la production



9. ECONOMIE CONCURRENTIELLE

9.1 COÛTS DU TOURNANT ÉNERGÉTIQUE ET EFFETS POUR L'ÉCONOMIE

Facteurs de coûts

Prédire les coûts du tournant énergétique n'est pas simple, puisqu'il faut tenir compte des aspects suivants:

- Réduction des coûts par l'économie d'énergie
- Coûts d'investissement dans l'utilisation la plus efficace de l'énergie
- Coûts des investissements dans un nouveau parc de centrales
- Coûts des investissements dans la transformation du réseau
- Coûts environnementaux de la mise à disposition et de l'utilisation de l'énergie.

Faire des prédictions au-delà de 35 ans n'est pas facile, particulièrement en matière d'évolution de la technologie et des prix. Par exemple, les prix des modules photovoltaïques ont chuté d'un facteur 3 entre 2006 et 2014 seulement.⁵³ On dénote actuellement une évolution similaire dans le domaine des accumulateurs, dont les performances ont fortement augmenté alors que leurs prix baissent.

Un autre paramètre important est la durée de vie des installations de production. Il apparaît ainsi que nombre d'entre elles ont une «fin dorée»⁵⁴ plus longue que ce que l'on supposait à ce jour. Les installations photovoltaïques de la première génération continuent de fournir leurs services et de produire du courant sans générer de coûts. Il en va de même pour les investissements dans l'efficacité énergétique: si les isolations thermiques ne sont pas remplacées mais seulement renouvelées, les coûts de la mesure s'en trouvent diminués.

Un investissement déjà rentable aujourd'hui le devient encore davantage. Nombre de ces facteurs font l'objet d'estimations plutôt conservatives dans les études.

Une comparaison établie par swisscleantech entre 13 études suisses portant sur l'énergie et l'électricité⁵⁵ montre que le tournant énergétique n'aura pas de conséquences négatives notables sur le bien-être et la croissance. Une étude publiée en 2013 pour le compte de la Fondation suisse de l'énergie indique même une réduction des coûts par rapport au scénario du statu quo.⁵⁶

Coûts supplémentaires du tournant énergétique et conséquences pour l'économie

Selon le scénario de référence, les coûts supplémentaires d'un tournant énergétique se montent au maximum entre 50 et 100 milliards de francs jusqu'en 2050. Ce sont environ 2 milliards de francs par année pendant 40 ans.

Ces «coûts nets» ne tiennent toutefois pas compte des effets supplémentaires importants du tournant énergétique. En font partie la création de places de travail, la diminution des risques (risques nucléaires, mais aussi risques et coûts du changement climatique, dépendance vis-à-vis de l'étranger), des coûts de la santé plus bas ainsi que des avantages en matière de savoir-faire, d'innovation et de positionnement.

Le professeur Lucas Bretschger (Ecole polytechnique fédérale de Zurich, EPFZ) s'est servi d'un modèle d'équilibre pour intégrer certains de ces facteurs au calcul et a examiné les conséquences d'une sortie progressive du nucléaire en maintenant une politique climatique ambitieuse. Son étude⁵⁷ conclut, pour tous les scénarios examinés, parmi lesquels la Stratégie énergétique Cleantech, que **les répercussions délétères sur le bien-être se monteront au maximum à 0,4%** par rapport au scénario du statu quo. La croissance annuelle tomberait d'une moyenne de 1,28% à 1,257%, un effet négligeable par rapport aux variations réelles.

Cette analyse n'inclut ni la réduction du risque climatique, ni celle du risque calculé des centrales nucléaires. Par conséquent, un examen plus complet permettrait même de conclure à un bilan économique positif. Un effet de croissance du PIB de -0,5% à +2% représente une fourchette réaliste.

53 Fédération allemande de l'économie solaire (2014), indice des prix de l'énergie photovoltaïque

54 La fin dorée d'une installation décrit la phase du cycle de vie où l'installation fonctionne alors qu'elle est déjà amortie.

55 www.swisscleantech.ch/fileadmin/content/POLUSCA_POL_Vergleich_2013_v07.pdf

56 Version brève de l'étude: www.energiestiftung.ch/files/textdateien/energie_themen/energiepolitik/ses-studie_kosten_kurzfassung_web.pdf

57 Bretschger Lucas, Ramer Roger and Zhang Lin: Economic effects of a nuclear phase-out policy: A CGE analysis, Economics Working Paper Series 12/167, ETHZ.

Cette analyse n'inclut ni la réduction du risque climatique, ni celle du risque calculé des centrales nucléaires. Par conséquent, un examen plus complet permettrait même de conclure à un **bilan économique positif**. Un effet de croissance du PIB de $-0,5\%$ à $+2\%$ représente une fourchette réaliste.

Adaptations structurelles

L'étude du professeur Bretschger montre en outre que la sortie du nucléaire engendrerait **des changements structurels intéressants**, en donnant une impulsion à des industries innovantes telles que l'industrie mécanique ou l'industrie chimique. Elle ne relève aucun signe indiquant que les industries grosses consommatrices d'énergie seraient évincés. Leur croissance est certes moins rapide que celle d'autres branches économiques, sans être pour autant négative, mais c'est une tendance que l'on peut observer dès à présent: dans ces branches, une politique publique appropriée, par exemple l'exonération des taxes sur l'énergie associée à une obligation de gains d'efficacité, peut atténuer les conséquences de la hausse des prix de l'énergie et contribuer à des gains de compétitivité.

Selon les auteurs de cette étude, l'innovation tient une place centrale et l'antagonisme très souvent redouté entre sortie du nucléaire et lutte contre le changement climatique ne peut être confirmé. Le développement concentré des énergies renouvelables se traduit par des effets positifs dans tous les secteurs de l'innovation. De plus, si l'on parvient à une utilisation très flexible des différentes sources d'énergie (forte substituabilité), il pourra même en découler des effets positifs sur le bien-être. C'est précisément à cette fin que la Stratégie énergétique Cleantech encourage, par exemple, la mobilité électrique.

Le New Climate Economy Report (2014)⁵⁸ parvient à des résultats similaires: d'un point de vue global, une protection ambitieuse du climat a des effets positifs sur l'économie mondiale. Il n'existe pas de dilemme entre croissance économique et protection climatique.

Classification des coûts supplémentaires

Les constats de cette étude n'étonnent pas vraiment swisscleantech. Pour swisscleantech, tout comme les rénovations de bâtiments, les économies d'électricité au niveau des appareils et des machines ont déjà des répercussions favorables pour l'économie des entreprises, aux prix actuels de l'énergie, à condition que la durée de vie soit correctement calculée. Dans ce cas, les coûts du tournant énergétique se limitent aux coûts d'extension du réseau (qui seraient dans une large mesure générés aussi en l'absence de tournant énergétique) et aux surcoûts non

amortissables de la production d'électricité renouvelable. Grâce à la courbe d'apprentissage attendue, ces coûts diminueront rapidement et ressortiront à 80 milliards de francs d'ici 2050, soit, en moyenne, 2 milliards de francs par an. Comparé, par exemple, à la valeur de remplacement de l'infrastructure technique de la Suisse, soit 830 milliards de francs⁵⁹ ou au produit intérieur brut annuel du pays, de 586 milliards de francs,⁶⁰ il apparaît que le tournant énergétique est **finançable**.

D'un autre côté, il faut tenir compte du fait que la réalisation de la Stratégie énergétique Cleantech entraînera des **investissements** de l'ordre de 210 milliards de francs dans la production d'énergie. Ces investissements sont efficaces à au moins 50% en Suisse, où ils créent des emplois. De plus, en jouant un rôle précurseur dans le domaine énergétique, la Suisse peut mettre à profit ses atouts compétitifs sur le marché international et renforcer son positionnement comme site Cleantech.

Le marché de l'électricité

– un défi en matière d'organisation

L'énergie électrique joue un rôle central dans la Stratégie énergétique Cleantech. Il est donc d'autant plus important que le prix de l'électricité couvre aussi les coûts réels. Mais comme évoqué dans le chapitre 8.3, le marché de l'électricité ne reflète actuellement que les coûts variables de la production électrique. Les prix ne comprennent pas la part revenant au refinancement des installations.

Ce point doit aussi être pris en considération dans l'évaluation d'éventuels coûts supplémentaires occasionnés par le tournant énergétique. C'est pourquoi nous identifions ces coûts supplémentaires en les comparant aux coûts économiques globaux d'un modèle de référence. Les coûts externes sont également pris en compte, pour autant que cela soit aujourd'hui possible. L'ampleur du relèvement de la rétribution à prix courant (PRC) n'est en revanche pas pertinente pour le montant des coûts supplémentaires, contrairement à ce que l'on entend souvent dans le débat actuel. Si le prix de l'électricité baisse en-dessous des coûts économiques globaux moyens tels qu'ils sont définis dans le modèle de référence, la RPC augmente automatiquement. Elle ne compense alors pas les coûts supplémentaires du système des énergies renouvelables, mais un dysfonctionnement du marché de l'électricité, qui n'est pas conçu pour refléter les coûts globaux. Ce problème concerne ainsi le modèle de référence.

Dans ces conditions, il n'y a donc aucune raison de reporter à demain la sortie à la fois des combustibles fos-

⁵⁸ New Climate Economy: Better growth, better climate (2014) – publication suivante du «Stern Report»: The economics of climate change (2006)

⁵⁹ Schalcher et al. (2011). Quels seront les coûts futurs des bâtiments et des infrastructures suisses et qui les paiera? Etude ciblée du PNR 54

⁶⁰ OFS, comptes nationaux de la Suisse

siles et du nucléaire. Une sortie ultérieure sera bien plus difficile si l'on continue aujourd'hui avec le scénario du statu quo. L'un des préalables essentiels est la définition précoce et à long terme des conditions cadres politiques.

9.2 FINANCEMENT

Pour le financement, il faut, en principe, utiliser des instruments qui reflètent le mieux possible les coûts globaux de la production d'énergie. Les coûts globaux doivent être définis individuellement pour chaque forme d'énergie en fonction de ses coûts externes.⁶¹ Les coûts qui ne sont pas entièrement compris dans les calculs ont été jusqu'ici supportés par la société, l'environnement et, plus précisément, par les générations suivantes. Ils doivent désormais être inclus dans le prix de l'énergie. Ici, une évaluation adéquate des émissions de CO₂ et les coûts d'assurance du risque résiduel de l'énergie nucléaire sont particulièrement importants.

Comme indiqué plus haut déjà, des solutions pour la conception du marché de l'électricité doivent être trouvées à moyen terme. Le marché de l'électricité doit être aménagé de manière à permettre le refinancement des installations de production et la rémunération équitable des coûts d'investissement par le biais du prix de l'électricité.

Pour assurer le financement à court terme et donner au tournant énergétique l'impulsion nécessaire, le mécanisme de RPC déjà en place peut être utilisé. Un relèvement progressif du supplément pour la RPC (plafonnement complet) à 3 centimes⁶² maximum et une optimisation des mesures d'encouragement rendront possibles les augmentations de capacités nécessaires pour les énergies renouvelables. Les améliorations techniques doivent être prises en compte lors de la fixation des taux de rétribution, ce qui permet, à moyens financiers identiques, de créer en permanence des capacités accrues. L'instauration de nouvelles capacités doit être organisée d'une façon continue et prévisible. Les contributions RPC restent cependant couvertes, évitant ainsi des créations de capacités excessives et des obligations financières trop lourdes à long terme.

La conservation des différents plafonnements partiels permet de viser une utilisation plus efficace des moyens. La RPC étant actuellement pleinement exploitée, elle n'incite pas à produire de manière à servir le marché. C'est pourquoi des améliorations encourageant une production conforme à la demande s'avèrent judicieuses.

Elles doivent cependant être aménagées de manière à éviter une augmentation inutile des coûts de financement des installations. Des contributions aux investissements de la grande hydraulique sont nécessaires, en particulier pour les extensions et les renouvellements.

En plus de l'augmentation des capacités des énergies renouvelables, il sera nécessaire d'investir rapidement et sans lourdes formalités administratives dans l'extension et la transformation de l'infrastructure du réseau. Les premiers calculs effectués par swisscleantech montrent que, dans ce domaine, les coûts avoisineront 1 ct/kWh sur les 15 prochaines années. L'extension peut être financée automatiquement via les coûts d'utilisation du réseau. Pour cela, swisscleantech réclame en premier lieu davantage de transparence dans les tarifs d'utilisation du réseau.

A partir de 2021, une transition planifiée à long terme doit permettre de remplacer le système d'encouragement par une . Il faut toutefois tenir compte du fait que des prix plus élevés de l'énergie n'ont pratiquement pas d'effet à court terme, mais qu'ils conduisent à long terme à une baisse notable de la demande énergétique. C'est pourquoi la transformation doit être progressive et les mesures d'incitation annoncées sur le long terme.⁶³

Le mécanisme d'incitation doit, dans la mesure du possible, tenir compte des effets sur l'environnement, qui diffèrent d'une source d'énergie à l'autre, afin de se rapprocher continuellement de la prise en compte des coûts globaux (cf. chapitre 8.3).

Le maintien du système d'encouragement existant couplé à un renforcement graduel du système d'incitation constitue une solution de financement optimale.

61 Pour les bases, cf. Tableau 7

62 Sans les coûts globaux d'exploitation du modèle de référence

63 L'élasticité du prix de l'énergie est très faible à court terme, mais s'établit à long terme entre 0.6 et 1 pour la demande économique. Cf. EPFZ (2011): www.kof.ethz.ch/del/publikationen/p/kof-studien/2115/

Tableau 7
Calcul des coûts globaux par forme d'énergie

SOURCE D'ÉNERGIE	COÛTS EXTERNES
ENERGIE NUCLÉAIRE	Assurance du risque d'accident (dommages à long terme), stockage, transport, obligations découlant de la livraison de barres de combustible, arrêt (toutes mesures insuffisamment financées à l'heure actuelle).
ENERGIE HYDRAULIQUE	Les risques liés aux barrages sont insuffisamment couverts. Cependant, contrairement à l'énergie nucléaire, l'impact des dommages susceptibles de survenir n'est que local et régional, avec des effets à court terme. Effets possibles sur la biodiversité.
ENERGIES RENOUVELABLES	Pour le solaire, l'éolien et la biomasse, il s'agit de tenir compte de l'influence sur la biodiversité, de la protection des paysages, de l'énergie grise et de l'utilisation de substances chimiques pour la production des installations.
ENERGIES FOSSILES	Pour les énergies fossiles, les coûts externes négatifs sont internalisés jusqu'en 2020, au moins en partie, dans la loi sur le CO ₂ , via la taxe sur le CO ₂ /la compensation des émissions de CO ₂ . Ensuite, les coûts externes de la consommation d'énergies fossiles doivent être pris en compte dans le cadre de la réforme fiscale écologique. A long terme, les coûts externes de la production des agents énergétiques doivent aussi être intégrés.

9.3 LES PRIX DE L'ÉNERGIE ET LEURS CONSÉQUENCES SUR LES CONSOMMATEURS

Comparés à d'autres pays européens, les prix de l'énergie en Suisse sont **actuellement bon marché**. Ces 25 dernières années, la baisse réelle du prix de l'électricité est de plus de 25% en moyenne (les tarifs spéciaux industriels doivent être considérés séparément). Lors de chaque augmentation des tarifs de l'énergie, les conséquences pour les ménages et l'économie dans son ensemble s'avèrent décisives.

Les suppléments nécessaires pour la RPC entraînent d'ici 2035 une **hausse moyenne du prix de l'électricité** d'environ 25% pour les ménages et d'environ 30% pour les entreprises, suivant le tarif de l'électricité. **Pour les sources d'énergie fossiles**, une hausse analogue est attendue. Parallèlement, à compter de 2020, les prix de l'énergie seront déterminés par une taxe d'incitation. Des prix élevés induisent d'importantes incitations à moyen et à long terme en faveur d'un comportement plus économe. Conjugués à d'autres mesures comme par exemple des standards minimum, ils produisent des effets globaux et permettent des **gains d'efficacité significatifs**.

Pour les **branches grandes consommatrices d'énergie**, des réglementations dérogatoires peuvent et doivent être convenues afin que leurs entreprises ne soient pas désavantagées au cours d'une période de transition, et notamment en ce qui concerne la concurrence par les importations ainsi que leurs activités d'exportation. Parmi les branches grandes consommatrices d'énergie, on compte habituellement celles dans lesquelles les coûts de l'électricité représentent plus de 10% de la création de valeur ajoutée brute. En font partie le textile, l'industrie du papier et du carton, l'industrie du verre et du ciment, l'industrie des métaux et le recyclage. En 2009, ces branches, qui ont consommé en tout 12,7 TWh d'énergie, dont 4 TWh d'électricité, représentaient 6760 établissements avec 85 250 emplois (à plein temps). Ce nombre correspond à approximativement 2,3% des quelques 300 000 entreprises suisses et à 2,5% environ du total des 3,4 millions d'emplois. Ensemble, elles ont besoin de 5,2% de toute l'énergie consommée en Suisse et de 6,7% de l'électricité.⁶⁴ Ces entreprises pâtissent fortement des coûts énergétiques élevés et doivent être traitées séparément.

Pour la majorité des entreprises toutefois, les coûts d'électricité ne représentent qu'une petite partie de la création de valeur ajoutée brute. D'après une enquête réalisée par Swissmem auprès de 140 entreprises suisses,

⁶⁴ Office fédéral de l'énergie (2011), consommation d'énergie dans l'industrie et les services

les coûts énergétiques représentent moins de 2% pour plus du deux tiers d'entre elles. Dans 15 des entreprises interrogées, les coûts ne sont même pas décomptés.⁶⁵ La grande élasticité actuelle des prix permet de tirer la conclusion suivante: une augmentation des coûts de l'énergie ne fera que préparer les entreprises à aborder l'avenir.

La Stratégie énergétique Cleantech anticipe par conséquent une progression de l'industrie de transformation de 10% d'ici 2050, parallèlement à des gains d'efficacité de 20% (cf. Tableau 1). Il n'y aura donc pas de délocalisation des branches grosses consommatrices d'énergie hors des frontières du pays ni d'augmentation indirecte des émissions polluantes suisses sous l'effet d'une production moins efficace à l'étranger (fuites de carbone).

La consommation annuelle d'électricité d'un ménage (4 personnes) dans un immeuble collectif sans chauffe-eau électrique est actuellement de 4000 kWh en moyenne dans notre pays. Un supplément d'environ 3 ct/kWh (15%) occasionne des coûts supplémentaires mensuels de 11 francs par ménage. En fin de compte, l'effet d'une taxe incitative sur le budget des ménages serait donc marginal, grâce à la redistribution de la taxe.

⁶⁵ Swissmem (2012), enquête sur la Stratégie énergétique 2050, coûts de l'électricité et garantie d'approvisionnement

10. CONSOMMATION DE RESSOURCES

La sortie du nucléaire décrite dans la Stratégie énergétique Cleantech ainsi que l'abandon des agents énergétiques fossiles et leur remplacement par l'utilisation de formes d'énergie renouvelables montrent la voie vers un avenir où les émissions seront moins importantes, tout comme le risque nucléaire. Mais même si l'essentiel de l'énergie utilisée est d'origine renouvelable, sa production n'est pas sans effets sur l'environnement, d'importantes quantités de ressources étant nécessaires à la mise en place de l'infrastructure nécessaire.

Au sens d'une considération globale, les défis résultant de la mise à disposition des ressources nécessaires sont brièvement présentés ci-dessous. L'accent est mis sur les métaux critiques, le climat et la biodiversité.

10.1 CHANGEMENT CLIMATIQUE

Si le remplacement des agents énergétiques fossiles par des formes d'énergie renouvelables visé dans cette Stratégie énergétique minimise les émissions de gaz à effet de serre directes engendrées par la production d'énergie, la fabrication de cellules solaires, turbines éoliennes, installations de géothermie ou batteries destinées à l'électromobilité exigent des processus gourmands en énergie et en ressources, occasionnant à leur tour des émissions de gaz à effet de serre. Pour pouvoir réaliser la Stratégie énergétique Cleantech, des émissions de gaz à effet de serre équivalant à près de 55 millions de tonnes de CO₂ seront nécessaires entre 2010 et 2050, ce qui correspond aux émissions actuelles de la Suisse pendant une année. Une extrapolation indique cependant que la mise en œuvre de cette stratégie réduirait substantiellement les émissions de gaz à effet de serre. Et ceci même si les technologies nécessaires sont développées partout sur la planète, conformément à la Stratégie énergétique Cleantech. Si la production mondiale d'énergie passe, pour l'essentiel, aux énergies renouvelables dans le courant de la réalisation de la stratégie, les émissions de gaz à effet de serre engendrées par la production des installations nécessaires baisseraient également. L'effet de la transition s'en trouverait encore renforcé.

10.2 MÉTAUX

Les technologies utilisées pour exploiter les énergies renouvelables ont recours à de nombreux métaux. Outre les plus courants, disponibles en grandes quantités comme le fer, l'acier, le cuivre ou l'aluminium, divers métaux précieux et spéciaux⁶⁶ comme l'argent, l'or, d'indium, le gallium, le tellure ou des terres rares sont nécessaires. Ces métaux sont proportionnellement rares et ne sont aujourd'hui exploités qu'en petites quantités. C'est pourquoi il convient de procéder à une analyse attentive des possibles pénuries si la demande augmente fortement en raison du développement des énergies renouvelables. Ces dernières années, les quantités disponibles de la plupart des métaux ont augmenté, à la faveur de la découverte de nouveaux gisements, ou à celle de prix plus élevés ayant permis de rentabiliser l'extraction de minerai de moindre qualité. Les ressources mondiales de cobalt ont par exemple passé de 11 à 25 millions de tonnes entre 1994 et 2012, bien que les quantités extraites annuellement aient augmenté de 550% dans le même temps.⁶⁷

Pour être en mesure de juger la quantité de matières premières métalliques nécessaires à la réalisation de la Stratégie énergétique, swisscleantech a estimé les besoins des nouvelles technologies, particulièrement gourmandes en ressources, que sont le photovoltaïque et l'énergie éolienne, ainsi que de l'électromobilité. Ces calculs montrent que pour ces applications, le besoin en matières premières cumulé pour la Suisse jusqu'en 2050 est inférieur à 50% de la production mondiale d'une seule année (base 2012).⁶⁸

L'élément décisif est toutefois de savoir si notre stratégie énergétique est compatible avec un développement mondial durable. Il faut donc se demander si les ressources seraient disponibles en quantités suffisantes si les technologies décrites étaient développées au point que la consommation d'énergie mondiale par personne soit aussi importante qu'en Suisse.

⁶⁶ Métaux utilisés en relativement petites quantités à des fins spécifiquement technologiques

⁶⁷ U.S. Geological Survey

⁶⁸ Le lithium constitue la seule exception, les quantités extraites aujourd'hui étant très faibles en regard des besoins futurs.

L'extrapolation aux besoins mondiaux ainsi définis montre effectivement que des difficultés d'approvisionnement sont tout à fait possibles pour certains métaux.⁶⁹ Alors que les métaux courants comme le fer, l'acier, le cuivre, l'aluminium ou le plomb ne sont pas considérés comme critiques, bon nombre des métaux spéciaux pour le photovoltaïque, l'énergie éolienne et l'électromobilité seraient nécessaires en quantités de l'ordre des ressources disponibles estimées. Bien que la quantité de ressources connue à ce jour ne constitue pas une limite supérieure de disponibilité au sens propre du terme, ces métaux doivent tout de même être considérés comme critiques.⁷⁰ Il s'agit de métaux utilisés dans les cellules solaires (par exemple le gallium), pour la fabrication des batteries (lithium) ou les aimants permanents des moteurs électriques (néodyme). On peut cependant partir du principe que des solutions techniques de remplacement pourront être trouvées pour bon nombre de ces applications. Ainsi, par exemple, l'oxyde d'indium-étain utilisé dans les écrans et de nombreuses cellules solaires peut être remplacé par l'oxyde de zinc dopé à l'aluminium sans grandes pertes de performances. En plus d'un recyclage aussi efficace que possible, cela permettra de réduire la problématique des pénuries.

En conclusion, la sécurité de l'approvisionnement en métaux spéciaux représente un défi dans la réalisation de la présente stratégie. Les besoins estimés sont toutefois de l'ordre des ressources connues, de sorte que la menace de pénurie peut être évitée en prenant des mesures suffisamment tôt comme le développement technologique, la substitution des matériaux critiques et, avant tout, un recyclage efficace.

10.3 BIODIVERSITÉ

Les effets de la réalisation de la Stratégie énergétique sur la biodiversité sont aussi variés. Les turbines éoliennes devant être réalisées de manière concentrée hors des zones protégées et les installations photovoltaïques essentiellement montées sur les toits et, de plus en plus, les façades, ce sont surtout les effets de l'exploitation de la biomasse et de l'énergie hydraulique qui méritent que l'on s'y intéresse. Dans la Stratégie énergétique, les potentiels de l'exploitation de la biomasse ont été choisis de telle manière à éviter une surexploitation ainsi que l'évincement de la production alimentaire. La poursuite du développement de l'énergie hydraulique est considérée avec retenue. Il convient cependant d'accorder un poids particulier à la réalisation respectueuse, voire même à une optimisation de la situation actuelle.

⁶⁹ Cette réflexion ne tient pas compte des technologies de production d'énergie renouvelable utilisées dans des proportions différentes dans d'autres régions du monde (par exemple plus d'énergie hydraulique en Suisse qu'aux Pays-Bas, davantage d'énergie éolienne offshore en Allemagne qu'en Suisse).

⁷⁰ Les matières décrites comme critiques sont celles pour lesquelles une pénurie est prévisible et qui ne sont pas simplement substituables. Si une pénurie se produit, il faut s'attendre à des luttes acharnées pour leur répartition.

11. CONCLUSIONS

11.1 POSITIONNEMENTS RÉSULTANTS

Un approvisionnement énergétique sûr, économiquement avantageux et durable est possible :

- Les besoins en électricité vont augmenter.
- L'énergie va devenir plus chère.
- Il faudra importer de l'électricité plutôt que du gaz.
- Il est important de reconnaître le rôle central du stockage et des réseaux.
- Une sortie programmée du nucléaire nécessite des durées de fonctionnement fixes pour les centrales CCF et la poursuite de la recherche.
- A compter de 2021, une redevance incitative complète sur l'énergie est nécessaire.
- Le tournant énergétique en vaut la peine, même si l'on fait cavalier seul.

Les résultats de nos analyses montrent que les objectifs de la Stratégie énergétique Cleantech sont techniquement réalisables et économiquement supportables. A présent, il faut des mesures coordonnées et une implication collective de tous les acteurs si l'on veut que le tournant énergétique soit mis en œuvre résolument et d'une manière propice pour l'économie – Les besoins en électricité vont augmenter.

A l'inverse d'autres études, la Stratégie énergétique Cleantech estime que les besoins en énergie ne vont pas cesser d'augmenter, passant d'environ 60 TWh au-jour-d'hui à quelque 70 TWh en 2050. La différence se situe surtout dans le grand potentiel attribué à l'électromobilité et aux énergies renouvelables. Une hausse de la consommation d'électricité permettra aussi d'épuiser les potentiels d'efficacité. Grâce à la part plus faible d'énergies fossiles, les objectifs en matière de CO₂ pour-ront être atteints, malgré la hausse de la consommation électrique. Au contraire, le concept de société à 2000 watts vise une limitation de la consommation d'énergie, quelles que soient les émissions de CO₂ et la part des énergies renouvelables.

Pour swisscleantech, cet objectif de 2000 watts est symbolique. En réalité, la consommation par habitant devrait avoisiner 3500 watts à l'horizon 2050. swisscleantech

met l'accent sur l'objectif d'une société à une tonne de CO₂ d'ici 2050. Si la quantité d'énergie renouvelable à disposition est suffisante, cet objectif pourra aussi être réalisé si la consommation est supérieure à 2000 watts.

L'énergie va devenir plus chère

A l'avenir, outre le prix, la qualité de l'énergie sera au premier plan. Les efforts en matière d'efficacité auront par ailleurs pour effet de limiter l'augmentation des coûts énergétiques, malgré des prix plus élevés. Lorsque les prix de l'énergie augmentent, les investissements sont réalisés plus rapidement et la création de valeur est transférée plus vite dans le pays. Le site de production suisse en profite, tandis que les flux de capitaux dans les pays producteurs de pétrole diminuent. Des prix de l'énergie judicieux pour l'ensemble de l'économie ne doivent pas être empêchés par la minorité des secteurs gros consommateurs d'énergie. Pour ces derniers, des dérogations sont possibles pendant la phase de transition.

Il faudra importer de l'électricité verte et non du gaz

La Stratégie énergétique Cleantech prend en compte le gaz naturel, mais sans nouvelles centrales au gaz (à cycle combiné) de grande taille/principales. Pendant les mois où l'offre d'énergie est rare, il s'agira d'importer en premier lieu de l'électricité verte, à la place du gaz, pour ces installations. A l'avenir, le courant importé proviendra de pays où les risques politiques sont faibles, contrairement aux énergies fossiles, issues de pays où les risques de ce genre sont élevés. Le potentiel électrique éolien qui existe en Europe est assez important pour pouvoir fournir une quantité d'électricité suffisante, même en hiver. L'électricité peut faire l'objet d'une certification aussi bien nationale qu'internationale, ce qui permettra de prouver qu'elle émane de sources renouvelables. Une expansion résolue et la sécurisation de l'infrastructure du réseau international sont essentielles. Bon nombre des membres de swisscleantech investissent déjà dans les énergies renouvelables à l'étranger.

Si une pénurie devait toutefois se dessiner à l'horizon, la construction d'une centrale à cycle combiné serait envisageable pour assurer l'approvisionnement. Le délai de planification et de construction de ce type d'installation est court. Conformément à la loi toutefois, il faudra

impérativement compenser les émissions de CO₂. Une nouvelle politique énergétique ne saurait en aucun cas reposer sur les centrales à cycle combiné. A long terme, le gaz naturel devrait être remplacé par le méthane produit avec de l'électricité de sources renouvelables. Les effets concrets de cette technologie devraient toutefois être évalués en détail.

Il est important de reconnaître le rôle central du stockage et des réseaux

L'accumulation par pompage et l'utilisation ciblée des lacs de retenue deviennent décisives pour la sécurité d'approvisionnement de la Suisse. Ce faisant, elles contribuent également à la stabilisation du réseau en Europe. La construction ou l'agrandissement des centrales concernées implique de coûteux investissements en amont. Il est nécessaire d'instaurer des mesures appropriées, telles que des garanties des risques, pour que ces capacités soient, elles aussi, mises en place et déployées conformément à la stratégie globale. Pour le stockage à court terme, des accumulateurs décentralisés joueront aussi un rôle important à l'avenir. Parallèlement, les réseaux doivent être en mesure de mettre à disposition les accumulateurs de manière adéquate.

Une sortie programmée du nucléaire nécessite des durées de fonctionnement fixes pour les centrales et la poursuite de la recherche

Nos réflexions montrent qu'une sortie programmée du nucléaire est possible. Des durées de fonctionnement fixes doivent être définies de manière à garantir la possibilité de planification pour l'économie et la réalisation du tournant énergétique. Il faut clairement savoir pendant combien de temps on pourra et devra compter sur l'énergie nucléaire, et en quelle quantité. C'est le seul moyen de comparer les investissements dans l'efficacité, les énergies renouvelables et les réseaux intelligents au financement nécessaire pour le rééquipement de centrales nucléaires, et de déterminer avec pertinence des mesures axées sur l'efficacité et des instruments incitatifs.

La solution élaborée par swisscleantech augmente en outre de manière décisive l'importance globale de la sécurité. Il faut donc simultanément poursuivre la recherche dans les domaines de la sécurité nucléaire, de l'élimination, du stockage et des nouvelles technologies de réacteurs. Les moyens financiers à la disposition de la recherche sur l'énergie en général doivent toutefois être augmentés et renforcés pour l'efficacité, les énergies renouvelables et les réseaux.

A compter de 2021, une réforme fiscale économique sera impérative

La taxe incitative sur l'énergie est un instrument es-

sentiel si l'on veut que le tournant énergétique s'opère en suivant le plus possible la logique du marché. Cette réforme consiste à appliquer un prix plus élevé aux gros consommateurs d'énergie et à récompenser les économies d'énergie. En même temps, une réforme écologique doit aussi mettre un terme aux fausses incitations écologiques (telles que la déduction fiscale des frais de transport des travailleurs pendulaires). Contrairement aux autres instruments d'encouragement, une telle taxe est une solution libérale et avantageuse. L'élasticité des prix de l'énergie étant faible à court terme, mais élevée à long terme, il est impératif de s'engager sur cette voie le plus rapidement possible.

Même si l'on fait cavalier seul, le tournant énergétique en vaut la peine

Il ressort des résultats obtenus par le Center of Economic Research de l'EPFZ que le tournant énergétique, à supposer qu'il se concrétise, ne s'accompagnera que de pertes de bien-être minimales. Les coûts redoutés seront contrebalancés par les innovations et les investissements. La création de valeur ajoutée aura lieu sur le territoire national, et non plus dans les pays exportateurs de pétrole. Si l'on inclut en plus les coûts de l'énergie nucléaire jusqu'ici non pris en compte, les coûts environnementaux évités, ainsi que les atouts économiques en termes de positionnement sur le marché international, il apparaît que le tournant énergétique aura même des répercussions positives sur l'économie suisse. Certes, il se peut qu'au début, la Suisse ne soit pas attrayante par rapport à d'autres pays, mais ces désavantages seront temporaires et, comme indiqué plus haut, neutralisés à moyen terme par l'innovation et l'investissement. De plus, il est important de comprendre que des accords internationaux sur des aspects tels que le climat ou la sécurité nucléaire ne seront conclus que si des acteurs de premier plan sont prêts à jouer un rôle précurseur et, ainsi, à ouvrir le chemin pour d'autres, moins privilégiés.⁷¹ Qui d'autre que la Suisse doit faire du tournant énergétique une réalité en tenant compte des objectifs climatiques?

11.2 LE PAQUET DE MESURES

Les mesures les plus diverses sont requises dans chacun des quatre piliers de la Stratégie énergétique Cleantech. Celles **axées sur le marché**, qui ont des effets incitatifs grâce à la juste fixation des prix, sont prioritaires. D'autres critères sont la transparence et la possibilité de planification pour les entreprises, un bon rapport coûts-efficacité, l'allègement des procédures administratives et la neutralité budgétaire.

⁷¹ Swissscleantech publiera prochainement un papier au sujet d'un impôt global sur le CO₂

Tableau 8
Vue d'ensemble du paquet de mesures de la Stratégie énergétique Cleantech

On distingue trois types de mesures :

C = à court terme (en vigueur jusqu'en 2015), M = à moyen terme (jusqu'en 2020), L = à long terme (à compter de 2021).

	MESURE	C / M / L
EVOLUTION DE LA DEMANDE ET EFFICIENCE ÉNERGÉTIQUE	Interdiction et remplacement des chauffages et chauffe-eau électriques	C / M
	Durcissement des prescriptions énergétiques pour les bâtiments et relèvement du taux de rénovation des bâtiments selon la norme SIA-380/I. Utilisation plus large de la technique de régulation dans les bâtiments. Allègements fiscaux pour les investissements dans les bâtiments.	C / M / L
	Durcissement progressif des prescriptions relatives à l'efficacité des lampes et des appareils, ainsi que des labels (dans la classification connue A-F) dans les domaines où cela n'existe pas encore (p. ex. l'informatique)	C / M
	Intégration des entreprises d'électricité, en particulier des distributeurs, dans les mesures d'efficacité	C / M
	Extension et harmonisation des accords sur les objectifs et de l'exonération de la taxe (CO ₂ et efficacité de l'électricité)	C
	Promotion de l'efficacité énergétique dans les transports (efficacité des moteurs/standards minimum, répartition modale, Mobility Pricing, etc.)	M
	Stratégie nationale pour la mobilité électrique	M
	Introduction d'un système d'incitation climatique et énergétique, y compris taxes sur les émissions de CO ₂ et les risques du nucléaire (taxe sur le courant gris)	M / L
	Planification énergétique et du territoire (planification combinant énergie, territoire et trafic)	M / L
OFFRE D'ÉNERGIE DE HAUTE QUALITÉ	Financement de l'entrée dans l'ère énergétique Cleantech: taxe via le mécanisme de RPC	C
	RPC: relèvement et optimisation des mesures d'encouragement	C
	Amélioration des conditions-cadres pour la géothermie et le CCF (via les réseaux intégrés, anergie, etc.)	C
	Réglementation des durées de fonctionnement pour les centrales nucléaires existantes	
	Energie hydraulique: contributions d'investissement pour les grandes centrales; expansion de la RPC à l'énergie hydraulique	C / M
DISTRIBUTION ET STOCKAGE INTELLIGENTS	Connexion internationale: conclusion d'accords d'approvisionnement en électricité avec l'UE, stratégie de la Suisse comme la plaque tournante, stabilisateur et batterie pour l'Europe centrale, la Suisse étant le centre et l'investisseur dans le réseau à haute tension	C / M / L
	Tarifification reposant sur le principe de l'utilisateur-payeur	C / M
	Programme national pour l'établissement d'une smartgrid	C / M
	Programme national de coordination «Stockage de l'électricité», définition de mécanismes de financement selon des considérations macroéconomiques	M / L
	Extension décentralisée du réseau: augmentation des capacités, enfouissement de toutes les nouvelles lignes (y compris en cas de remplacement/rénovation)	M / L
	Engagement de la Suisse pour un modèle de marché de l'électricité solide à long terme, fonctionnant sur la base des coûts globaux	M
ECONOMIE CONCURRENTIELLE	Procédures d'autorisation plus simples et plus rapides pour les énergies renouvelables (notamment pour le solaire et l'éolien)	C
	Promotion de la recherche axée sur l'efficacité, les énergies renouvelables, la distribution et le stockage	C
	Reconversion pour le recrutement de spécialistes supplémentaires	C
	Intensification des programmes SuisseEnergie et Cité de l'énergie	C
	Encouragement des projets de partenariats privés/publics	C
	Renforcer l'instrument d'appels d'offres concurrentiels	M
	Certification de la qualité/Justification de la source pour toutes les formes d'énergie	M
	Création d'un marché de l'énergie libéralisé (choix du fournisseur)	M
	Intégration du marché des capitaux (différentes mesures, exemple des caisses de pension en tant qu'investisseurs dans des infrastructures et des bâtiments durables)	M / L
	Réforme fiscale écologique	L

