



# Perspectives énergétiques 2035/2050 Troisième rapport

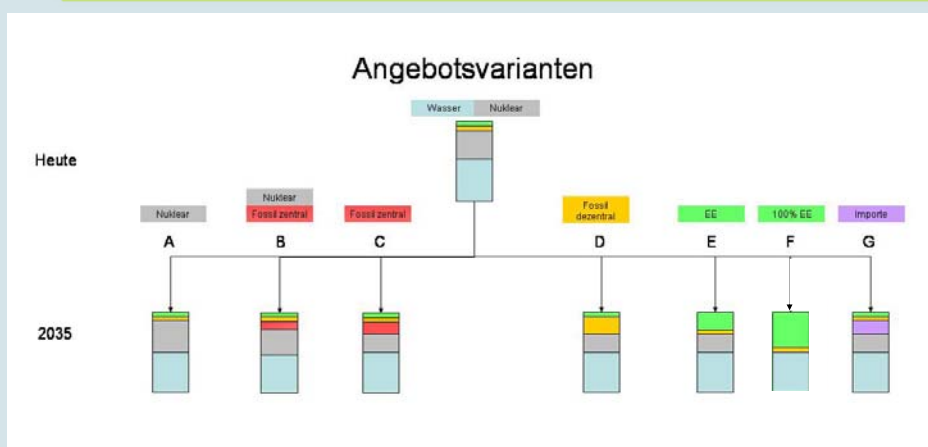
1. Demande d'énergie finale scénarios III et IV

2. Offre d'électricité scénario III

Forum du 26 avril 2006



## Aperçu des variantes pour combler le déficit d'électricité des scénarios I-IV (horizon temporel 2035)



Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

2

Trois variantes privilégient les grandes installations pour combler le déficit au niveau de l'offre:

- A Energie nucléaire: les centrales nucléaires sont remplacées par d'autres centrales nucléaires
- B Energies nucléaire et fossile: stratégie de transition avec des centrales au gaz à cycle combiné (CCC) puis de nouvelle(s) centrale(s) nucléaire(s)
- C Production thermique fossile centralisée: les centrales nucléaires sont remplacées par des centrales au gaz à cycle combiné

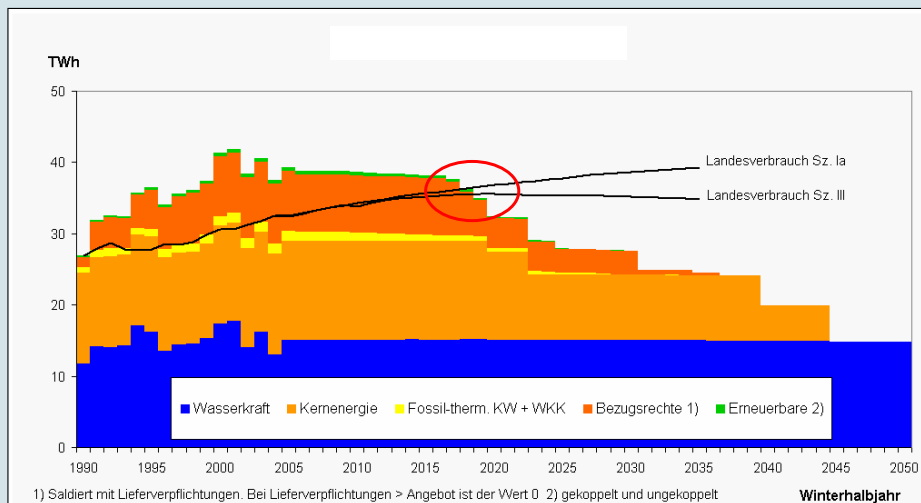
Trois variantes misent sur la production décentralisée d'énergie:

- D Production thermique fossile décentralisée: les centrales nucléaires sont surtout remplacées par des installations fossiles décentralisées
- E Energie renouvelable: les centrales nucléaires sont principalement remplacées par les énergies renouvelables
- F Energies renouvelables à 100%: sortie progressive du nucléaire d'ici 2035

La variante G examine comment combler le déficit avec des importations.



### Scénario III: hypothèse de déficit d'électricité en hiver



Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

3

L'illustration montre le déficit d'électricité en hiver avec une demande réduite dans le scénario II. Le déficit n'apparaît pas plus tard que dans le scénario I, mais il est bien plus petit. On montre ci-après comment ce déficit peut être comblé dans les conditions du scénario III.

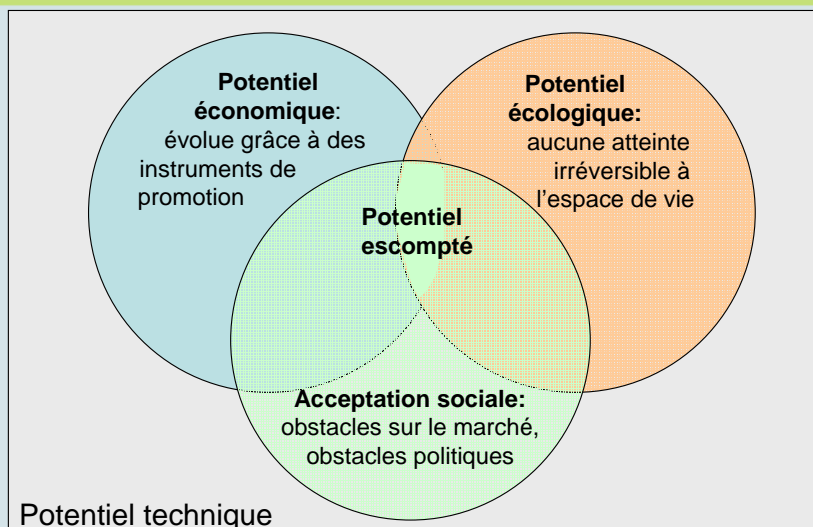
Valables pour toutes les variantes:

- Des taxes d'incitation et des prescriptions entraînent une réduction de la demande d'électricité et des restructurations au sein du secteur de l'électricité;
- Les « priorités nouvelles » incitent à mieux exploiter le potentiel des énergies renouvelables et conduisent à l'accroissement des capacités avec de nouvelles grandes centrales hydro-électriques (variante « positive » de l'étude Elektrowatt-Ekono sur le potentiel d'extension de la force hydraulique, 2004);
- Les scénarios tiennent compte de la consommation nationale seulement jusqu'en 2035. Ils n'impliquent pas de remplacer après 2035 les capacités de production construites entre 2004 et 2035. En raison des durées de vie (techniques) diverses des différentes installations de production d'électricité, il sera nécessaire de remplacer des installations plus ou moins rapidement après 2035. Les perspectives pour 2050 montrent que le déficit d'électricité se creuse à nouveau après 2035 (la « Vision 2050 » est en cours d'élaboration).

L'examen de la couverture du déficit principalement par des importations d'électricité est encore à l'étude (variante G). Dans le scénario III, l'importation d'«électricité verte», notamment d'électricité éolienne, est privilégiée.



### Scénario III: définition des potentiels



Source: Piot/Gutzwiller, 2006

Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

4

Le « potentiel » des nouvelles techniques et des agents énergétiques peut être défini de diverses manières. Les bilans énergétiques des scénarios de l'OFEN montrent les « potentiels escomptés », c.-à-d. les contributions attendues pour l'approvisionnement en fonction des conditions fixées dans les scénarios.

#### Définition des potentiels

**Potentiel théorique:** l'offre physique totale d'un agent énergétique dans un champ d'étude considéré sans limitations dues à l'utilisation.

**Potentiel technique:** part du potentiel théorique utilisable compte tenu des restrictions techniques données.

**Potentiel écologique:** potentiel qui ne cause pas d'atteinte supplémentaire et durable (=irréversible) à l'espace de vie en ce qui concerne la diversité et les interactions entre les êtres vivants et leur environnement. Il s'ensuit notamment que cette définition prend pour référence l'état actuel et que l'écologie ne comprend pas l'esthétique du paysage.

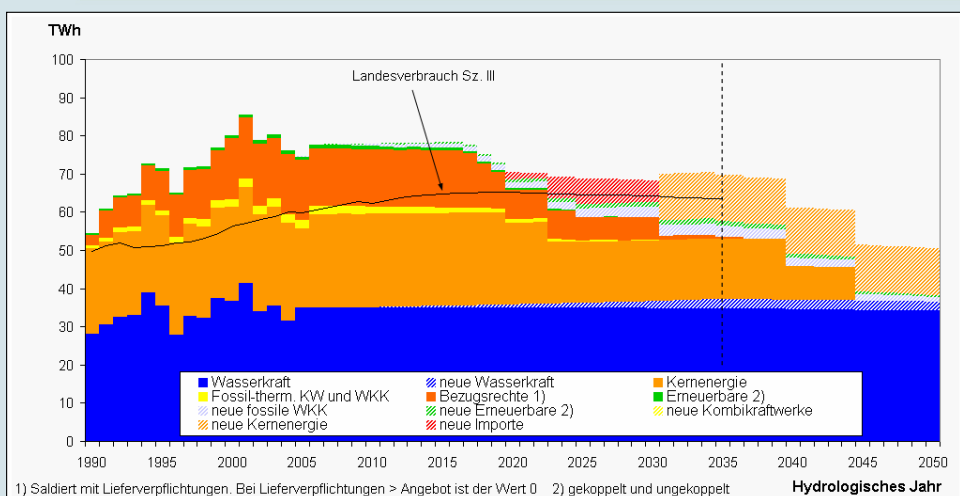
**Potentiel économique et potentiel « économique élargi »:** le potentiel économique est la part du potentiel technique que l'on obtient lorsque les coûts totaux de la transformation en énergie d'une source énergétique se situent dans la fourchette des coûts des systèmes concurrents. Le potentiel économique élargi dépend fortement de grandeurs telles que les instruments de promotion, les taux d'intérêt et la durée d'amortissement des investissements ainsi que des prix, notamment des agents énergétiques fossiles concurrents.

**Potentiel escompté:** l'intersection entre potentiel écologique et potentiel économique élargi. En général, tout le potentiel de l'intersection n'est pas réalisé car un autre facteur, appelé acceptation sociale (p. ex. en matière de protection du paysage), intervient. Des obstacles sur le marché (d'autres préférences en matière d'investissement et de consommation, les coûts de l'acquisition d'information, etc.) ou des pertes d'efficacité dues aux instruments politiques constituent aussi des limitations.



## Scénario III: offre d'électricité (1)

Variante A: couverture du déficit avec de nouvelles importations et l'énergie nucléaire – sur toute l'année



1) Saldiert mit Lieferverpflichtungen. Bei Lieferverpflichtungen > Angebot ist der Wert 0 2) gekoppelt und ungekoppelt

Remarque: le scénario tient compte de la consommation nationale seulement jusqu'en 2035. Il n'implique pas de remplacer après 2035 les capacités de production construites entre 2004 et 2035.

Prognos 2006

Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

5

Les illustrations suivantes montrent la situation pour toute l'année (hydrologique) et au semestre d'hiver.

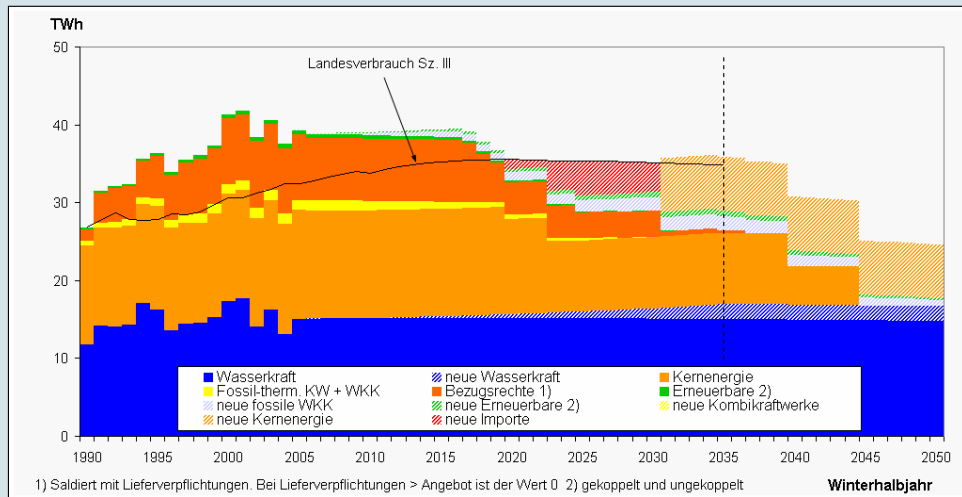
**Variante A:** couverture du déficit avec de nouvelles importations et l'énergie nucléaire

Elle suppose notamment qu'une nouvelle centrale nucléaire soit acceptée et que de nouvelles importations (ou participations dans des centrales nucléaires) soient possibles entre 2020 et 2030.



## Scénario III: offre d'électricité (2)

Variante A: couverture du déficit avec de nouvelles importations  
et l'énergie nucléaire – en hiver



Remarque: le scénario tient compte de la consommation nationale seulement jusqu'en 2035. Il n'implique pas de remplacer après 2035 les capacités de production construites entre 2004 et 2035.

Prognos 2006

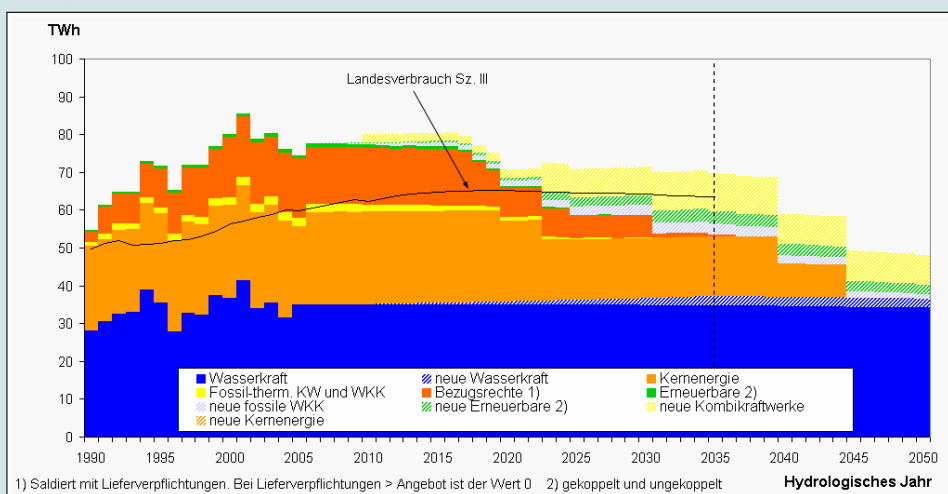
Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

6



### Scénario III: offre d'électricité (3)

Variante C: couverture du déficit avec des centrales thermiques fossiles centralisées – sur toute l'année



Remarque: le scénario tient compte de la consommation nationale seulement jusqu'en 2035. Il n'implique pas de remplacer après 2035 les capacités de production construites entre 2004 et 2035.

Prognos 2006

Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

7

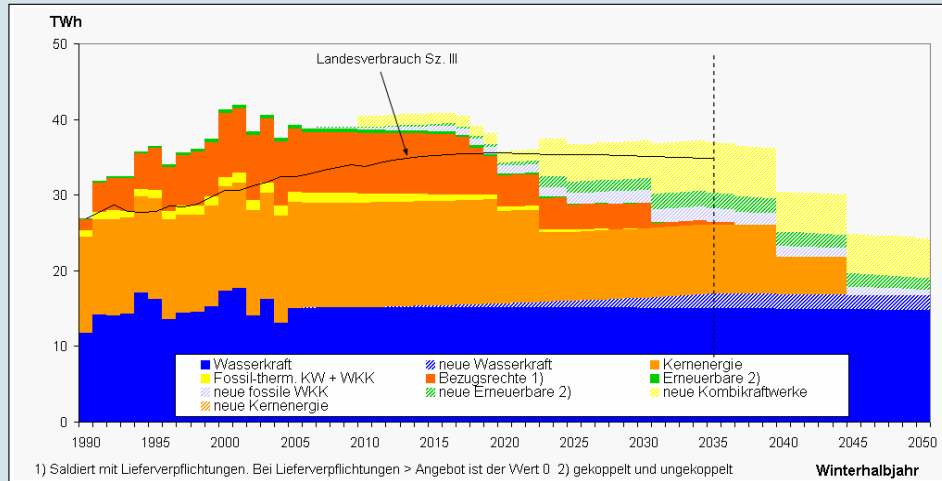
#### Variante C: couverture du déficit avec des centrales thermiques fossiles centralisées

- Pour atteindre cet objectif, le scénario III se fonde sur la combustion de gaz de bois (20%) dans des centrales au gaz à cycle combiné. Cette technique est novatrice, mais pas incertaine. Le gaz de bois est compté en plus de la production d'énergie et des coûts des énergies renouvelables;
- Dans la variante C du scénario III, trois tranches au gaz naturel et au gaz de bois à cycle combiné (de chacune 550 MW) sont construites successivement.



## Scénario III: offre d'électricité (4)

Variante C: couverture du déficit avec des centrales thermiques fossiles centralisées – en hiver



Remarque: le scénario tient compte de la consommation nationale seulement jusqu'en 2035. Il n'implique pas de remplacer après 2035 les capacités de production construites entre 2004 et 2035.

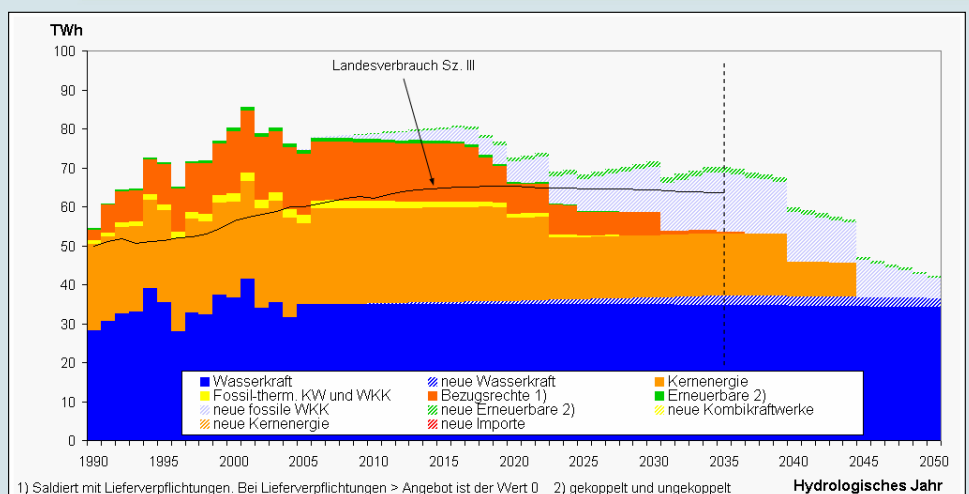
Prognos 2006





## Scénario III: offre d'électricité (5)

Variante D: couverture du déficit avec des centrales thermiques fossiles décentralisées – sur toute l'année



1) Saldiert mit Lieferverpflichtungen. Bei Lieferverpflichtungen > Angebot ist der Wert 0 2) gekoppelt und ungekoppelt

Remarque: le scénario tient compte de la consommation nationale seulement jusqu'en 2035. Il n'implique pas de remplacer après 2035 les capacités de production construites entre 2004 et 2035.

Prognos 2006

Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

9

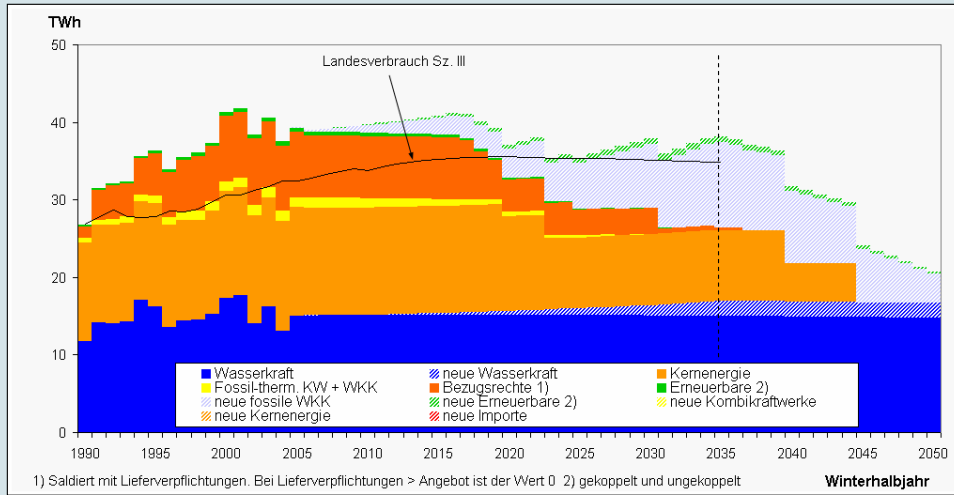
### Variante D: couverture du déficit avec des centrales thermiques fossiles décentralisées

Quel sera l'apport des centrales à couplage chaleur-force (CCF) (comme solution de transition vers un approvisionnement décentralisé avec des énergies renouvelables)? La variante D évite les Stranded Investments (investissements non amortissables compte tenu des cycles de renouvellement) et recourt à des techniques traditionnelles éprouvées. La conception des CCF est limitée par la demande de chaleur (puissance et travail).



## Scénario III: offre d'électricité (6)

Variante D: couverture du déficit avec des centrales thermiques fossiles décentralisées – en hiver



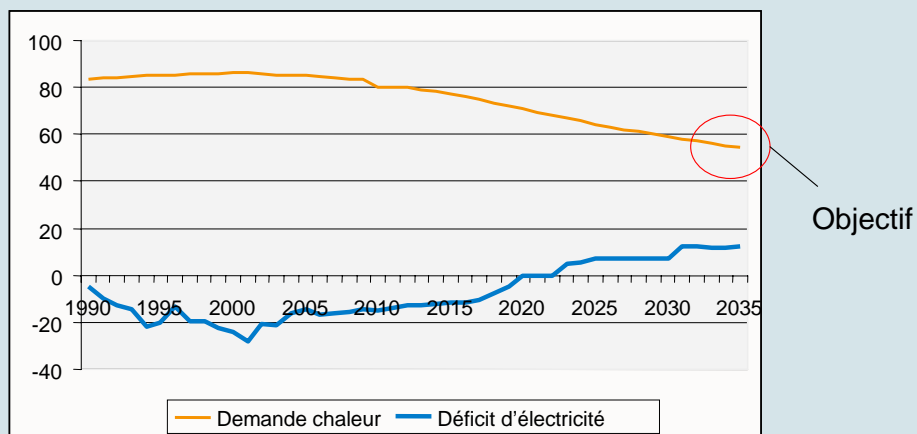
Remarque: le scénario tient compte de la consommation nationale seulement jusqu'en 2035. Il n'implique pas de remplacer après 2035 les capacités de production construites entre 2004 et 2035.

Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

10



## Digression CCF (1): tendance actuelle de la demande de chaleur et du déficit d'électricité



Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

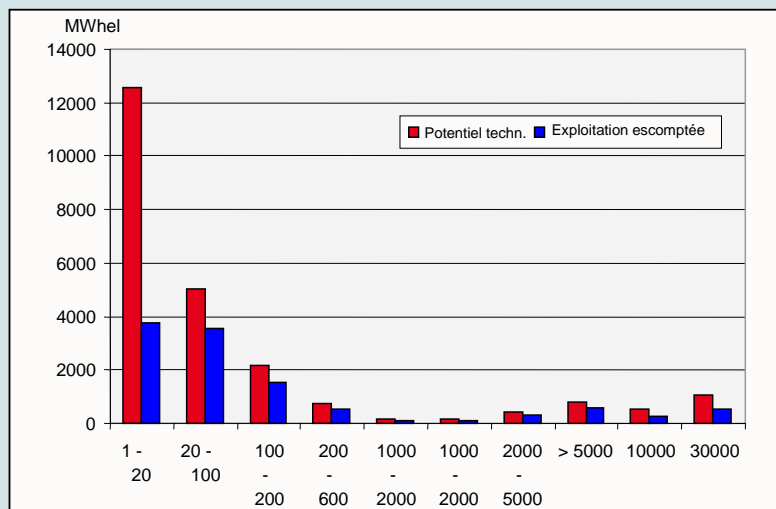
11

- L'illustration montre l'évolution actuelle de la demande de chaleur et du déficit d'électricité;
- La demande de chaleur baisse aussi en fonction des objets, ce qui nécessite de plus petites classes de puissance pour les CCF.



## Digression CCF (2)

Potentiel technique et potentiel escompté max. dans le scén. III d'ici 2035  
selon les classes de puissance électrique (par an)



Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

12

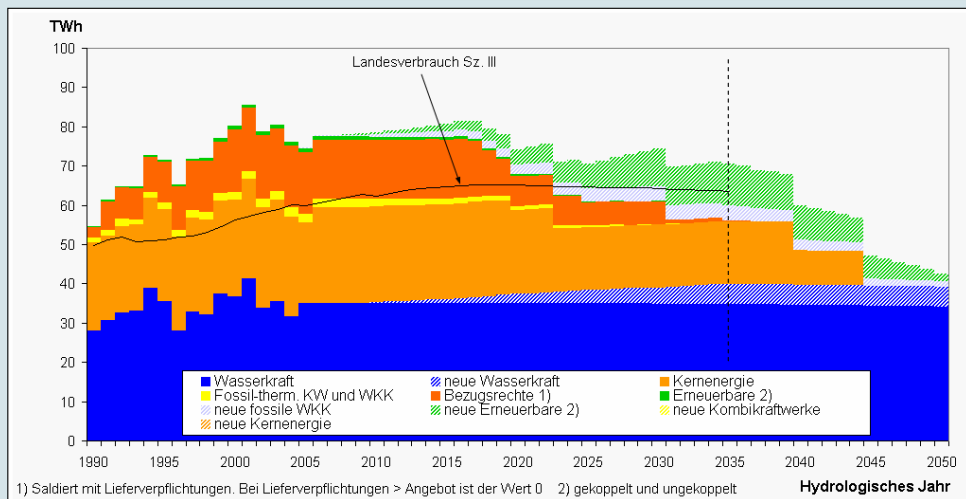
## Données de base pour la technique CCF prise en compte dans la variante D

Groupe	Charge calorifique maximale (kW <sub>th</sub> )	Part CCF dans la charge calorifique maximale	Puissance thermique par installation CCF (kW <sub>th</sub> )	Puissance électrique par installation CCF (kW <sub>el</sub> )	Indice électrique	Heures de pleine charge (h/a)
CCF 1	7 - 100	0.6	2 - 35	1 - 20	0.50	3750
CCF 2	125 - 675	0.6	35 - 200	20 - 100	0.55	3750
CCF 3/micro-turbine à gaz	500 - 1000	0.6	150 - 300	100 - 200	0.60	4100
CCF 4/micro-turbine à gaz	1000 - 2500	0.6	300 - 900	200 - 600	0.65	4300
CCF 5	3125 - 6250	0.6	1250 - 2500	1000 - 2000	0.70	4500
Turbine à gaz	3125 - 6250	0.4	1250 - 2500	1000 - 2000	0.80	3000
Turbine à gaz/centrale à cycle combiné	5555 - 14000	0.4	2500 - 6250	2000 - 5000	0.80	6000
Centrale à cycle combiné	15625	0.4	6250	> 5000	0.80	5000
Petit réseau de chaleur à distance	29412	0.34	10000	10000	1.00	5670
Grand réseau de chaleur à distance	65789	0.38	25000	30000	1.20	5800



## Scénario III: offre d'électricité (7)

Variante E: couverture du déficit avec des én. renouvelables – sur toute l'année



1) Saldiert mit Lieferverpflichtungen. Bei Lieferverpflichtungen > Angebot ist der Wert 0 2) gekoppelt und ungekoppelt  
Remarque: le scénario tient compte de la consommation nationale seulement jusqu'en 2035. Il n'implique pas de remplacer après 2035 les capacités de production construites entre 2004 et 2035.

Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

13

### Variante E: couverture du déficit avec des énergies renouvelables

Priorités: on cherche à obtenir un bouquet énergétique pour couvrir le déficit en 2035 de manière relativement 'économique'

- |                      |         |         |               |
|----------------------|---------|---------|---------------|
| 1. Force hydraulique | 2. STEP | 3. UIOM | 4. Biogaz     |
| 5. Biomasse du bois  | 6. Vent | 7. PV   | 8. Géothermie |

Comme dans le scénario II, il n'y a pas qu'une seule solution (un ordre différent de l'accroissement des capacités est concevable).

Le défi consiste surtout à combler le déficit au semestre d'hiver (besoin de puissance); le scénario III ne prévoit aucun renversement de tendance dû à l'accélération du développement.

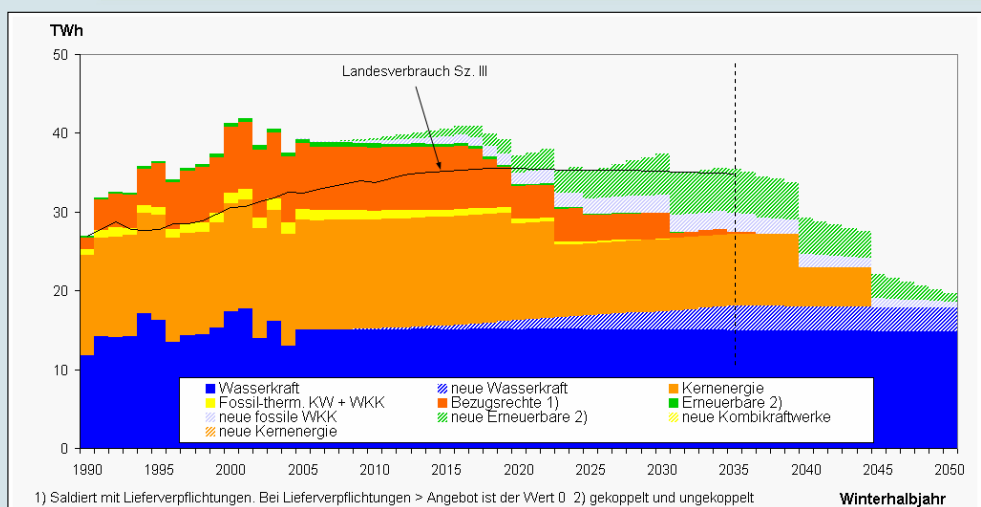
Les questions à étudier sont:

- « Utilisation » de nouvelles techniques: géothermie ou cellules à combustible à haut rendement? (aujourd'hui encore plutôt hypothétique);
- Biomasse: concurrence d'utilisation chaleur - électricité - carburants;
- Possibilités et limites de la pénétration du marché.



## Scénario III: offre d'électricité (8)

Variante E: couverture du déficit avec des énergies renouvelables - en hiver



1) Saldiert mit Lieferverpflichtungen. Bei Lieferverpflichtungen > Angebot ist der Wert 0 2) gekoppelt und ungekoppelt  
 Remarque: le scénario tient compte de la consommation nationale seulement jusqu'en 2035. Il n'implique pas de remplacer après 2035 les capacités de production construites entre 2004 et 2035.

Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
 Martin Renggli

14

### Aperçu de l'accroissement des capacités des énergies renouvelables (par an)

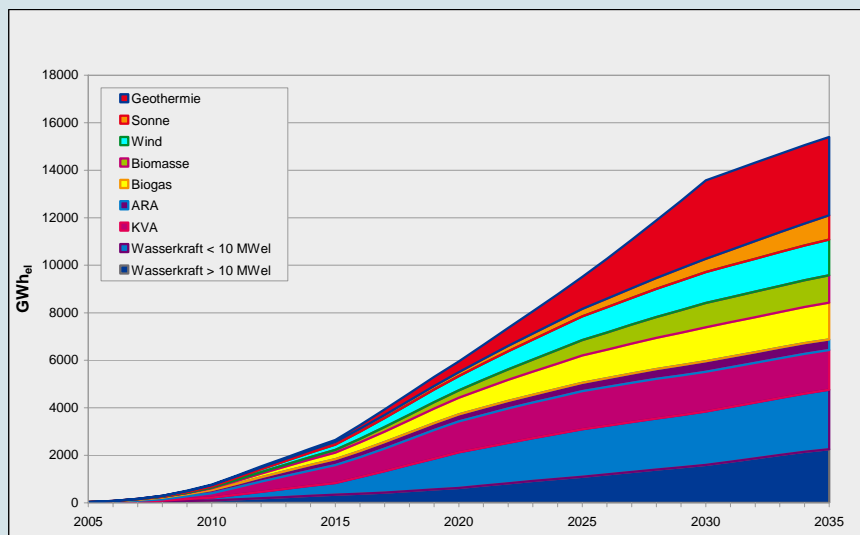
Accroissement des capacités <sup>1)</sup> en GWh/a	2010	2020	2035	Remarque/Source
Force hydraulique (extension sans rénovation) <sup>2)</sup>	100	1100	4700	Elektrowatt Ekono, 2004 (évolution pos.); PSI, 2005; estimations Prognos
STEP (~ 50% des énergies renouvelables)	150	1300	1671	Augmentation du degré d'efficacité électrique (OFEN, 2005)
UIOM	135	300	450	SuisseEnergie, 2005; estimations Prognos, Infrac, 2004
Biogaz	110	750	1550	Infrac, 2004 (potentiel de production d'électricité économique); SuisseEnergie, 2005; estimations Prognos
Biomasse (bois)	25	310	1150	SuisseEnergie, 2005; estimations Prognos; Infrac, 2004
Vent (énergie éolienne)	50	600	1500	Beaucoup plus que SuisseEnergie, selon Horbaty, 2004 in PSI, 2005
Photovoltaïque	40	175	1020	IPS, 2005 (limite supérieure du scénario C « modéré »)
Géothermie	20	450	3300	Estimations Prognos (pour combler le déficit)
<b>Total</b>	<b>630</b>	<b>4985</b>	<b>15341</b>	

1) Accroissement des capacités = remplacement (installations existantes) + extension (nouvelles installations p.ex. biomasse, PV, etc. et rénovation d'installations existantes)

2) Rénovation intégrée dans l'offre existante



## Digression énergies renouvelables: Evolution de la production d'électricité par ER



Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

15

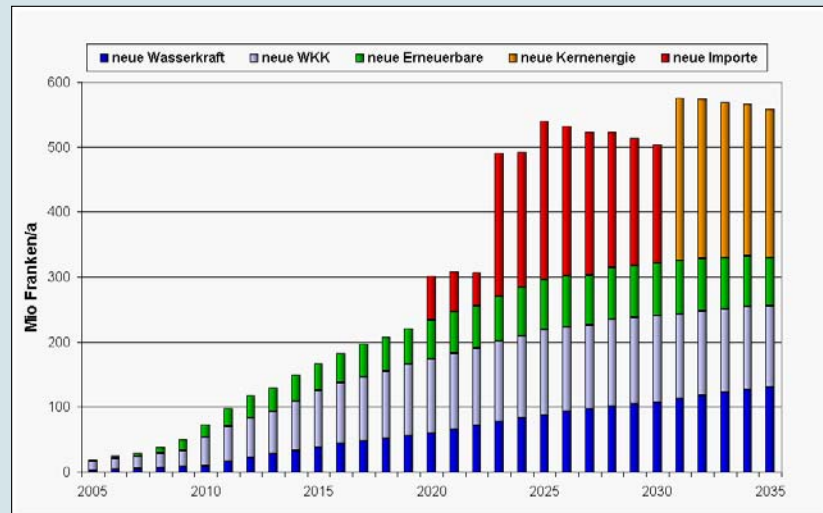
L'illustration montre l'accroissement des capacités des différentes techniques et agents énergétiques renouvelables.

Couvrir intégralement le déficit indigène est seulement possible avec 3'300 GWh de production d'électricité géothermique (charge de base). Il faut de plus que la technologie de la géothermie en grande profondeur soit suffisamment développée et concurrentielle d'ici à 2020 / 2030. Le photovoltaïque et la production d'électricité éolienne sont évalués de manière optimiste. La question de la production de puissance (kW) en fonction d'injections variables (y c. les possibilités d'importation d'électricité éolienne) sera étudiée dans les prochains travaux.



## Coûts annuels escomptés (1)

Variante A « Nouvelles importations et énergie nucléaire »



Remarque: sans coûts CO<sub>2</sub> ni déduction des exportations

Prognos 2006

Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

16

Les quatre illustrations suivantes montrent les coûts annuels escomptés de la couverture du déficit avec les variantes A, C, D et E. Les coûts sont évalués du point de vue économique, et comprennent donc pour la variante A p. ex. la gestion des déchets radioactifs, la désaffectation et le rééquipement de la centrale.

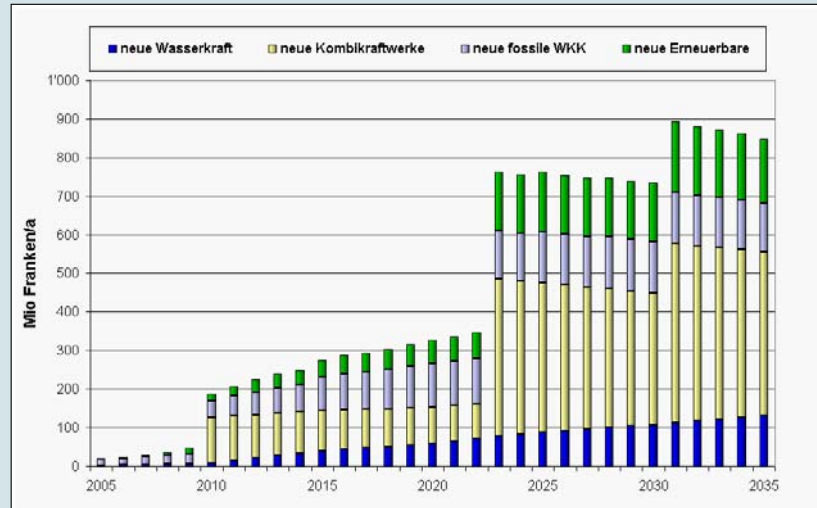
Le supplément (nécessaire) dû au CO<sub>2</sub> et une déduction pour les revenus des exportations ne sont pas encore pris en compte dans les résultats provisoires présentés ici, ni les risques liés aux prix et à l'approvisionnement.





## Coûts annuels escomptés (2)

Variante C « Production thermique fossile centralisée »



Remarque: sans coûts CO<sub>2</sub> ni déduction des exportations

Prognos 2006

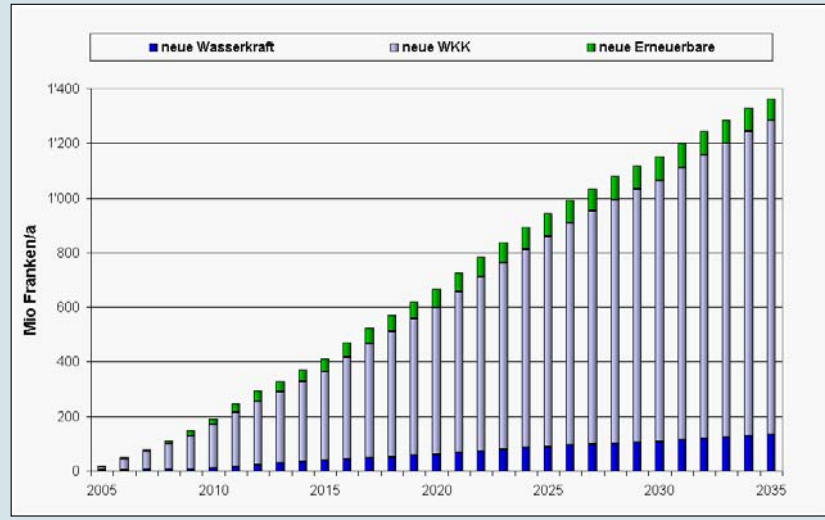
Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

17



### Coûts annuels escomptés (3)

Variante D « Production thermique fossile décentralisée »



Remarque: sans coûts CO<sub>2</sub> ni déduction des exportations

Prognos 2006

Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

18



## Coûts annuels escomptés (4) Variante E « Energies renouvelables »



Rem.: sans coûts CO<sub>2</sub> ni déduction des exportations

Prognos 2006

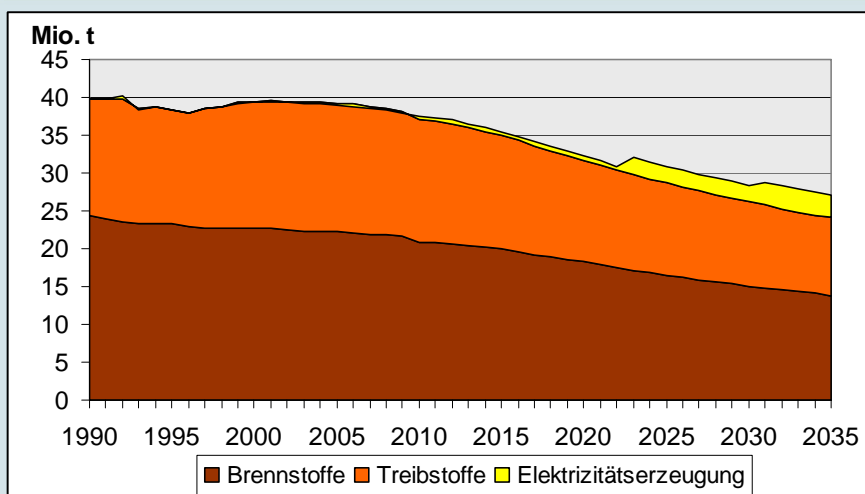
Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

19



## Emissions de CO<sub>2</sub> (1)

Variante C « Production thermique fossile centralisée »



$\Delta$  CO<sub>2</sub> (2035/2000): -31,1% (encore dans la fourchette cible)

Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

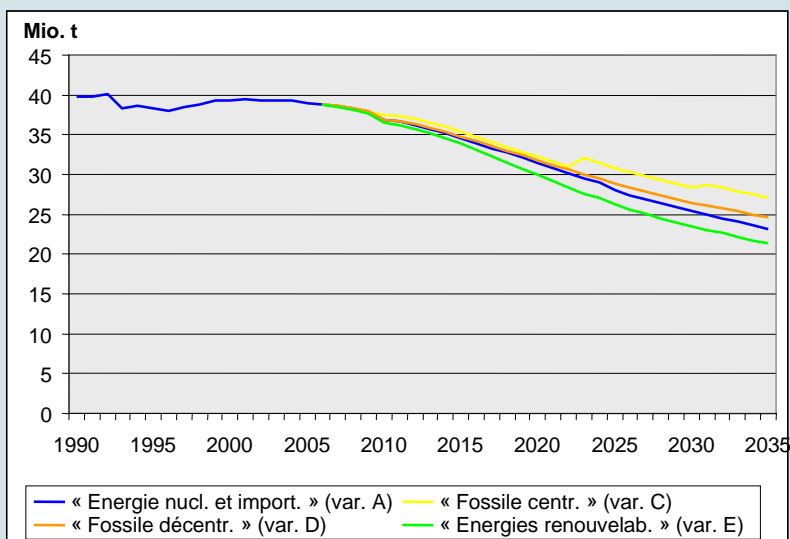
20

L'illustration montre les émissions de CO<sub>2</sub> (sans déduction pour les exportations d'électricité) dans le cas de la « variante C extrême »: couverture du déficit avec des centrales thermiques fossiles centralisées, principalement sans utilisation des rejets de chaleur dans l'hypothèse d'une combustion du gaz de bois. Dans le scénario III, les émissions de CO<sub>2</sub> baissent avec cette variante jusqu'en 2035 de quelque 31% par rapport à l'an 2000 (dans le cas de la variante E 'couverture du déficit avec des énergies renouvelables', la réduction est de 46%; cf. transparent suivant).

Les valeurs définitives seront supérieures d'environ un million de tonnes compte tenu du reste du secteur de transformation (p. ex. raffineries) et de la différence statistique. Toutefois, il est tenu compte d'une compensation pour l'exploitation des rejets thermiques des CCF (remplacement de chauffages au mazout et au gaz par de la chaleur CFF).



## Emissions de CO<sub>2</sub> (2) Scénario III comparaison des variantes



Perspectives énergétiques 2035/2050 • Troisième rapport, 003771032  
Martin Renggli

21

### Emissions de CO<sub>2</sub>, scénario III, comparaison des variantes

	1990	2000	2010	2020	2035
Variante A (demande + offre A)	39.7	39.3	36.8	31.5	23.2
Variante C (demande + offre C)	39.7	39.3	37.5	32.2	27.1
Variante D (demande + offre D)	39.7	39.3	36.9	31.8	24.7
Variante E (demande + offre E)	39.7	39.3	36.6	29.9	21.3

- Sans le reste du secteur de transformation ni la différence statistique (les valeurs définitives seront supérieures d'environ un million de tonnes)
- Valeurs nettes, y compris compensation pour utilisation de la chaleur des CCF