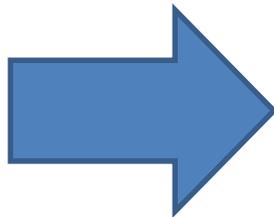


Perspective Climat et énergie – «Marché» de l'électricité



Roger Nordmann
Conseiller national, Lausanne
Rapporteur de commission sur la Stratégie énergétique 2050

Membre de la Commission de l'environnement, de l'aménagement du territoire (CEATE)

Président de Swissolar
Président du Groupe socialiste de l'Assemblée fédérale.

Table des matières

Partie I: Climat et transition énergétique.

1. **Energie et prospérité: intimement liées**
2. **L'enjeu climatique: scénarios de réchauffement du GIEC**
3. **Pro Memoria: l'hypothèque nucléaire**
4. **Les données en Suisse**
5. **La stratégie énergétique 2050 de la Suisse**
6. **L'initiative pour la sortie programmée du nucléaire**

Partie II: La question du «marché» de l'électricité

7. **Le (dys-)fonctionnement du marché électrique**
8. **Pilotage ou retour au monopole?**
9. **Le stockage pourrait changer la donne**

10. **Conclusion**

Partie I: Climat et transition énergétique.

1. Energie et prospérité: intimement liées

- L'énergie n'est pas un but en soi, mais plutôt un des déterminants du bien être: quantité, qualité, accès.
- La mobilisation du charbon, puis du pétrole, comme condition de l'industrialisation et de l'agriculture moderne, mais aussi comme épée de Damoclès.

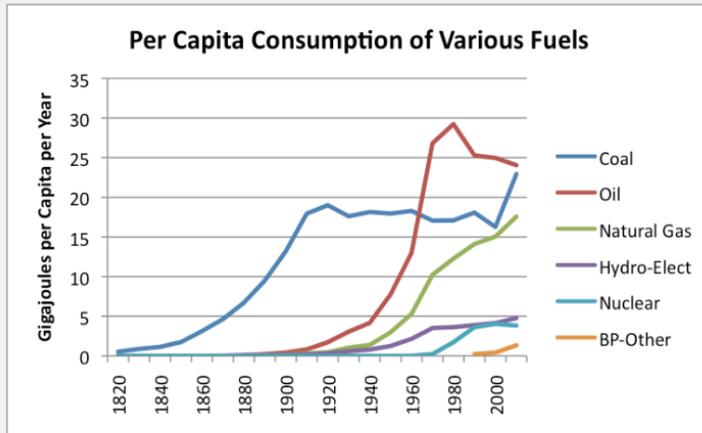


Figure 6. Per capita consumption of various fuels, separately, rather than stacked, as in Figure 2.

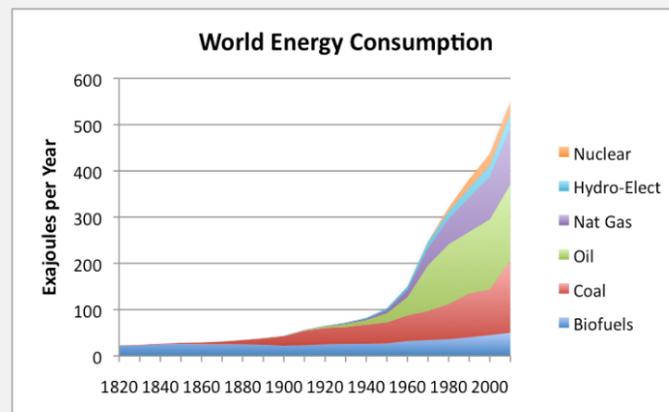
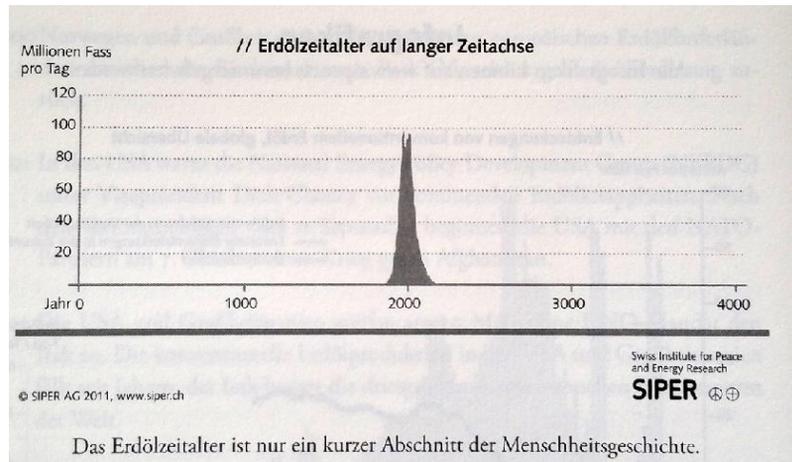


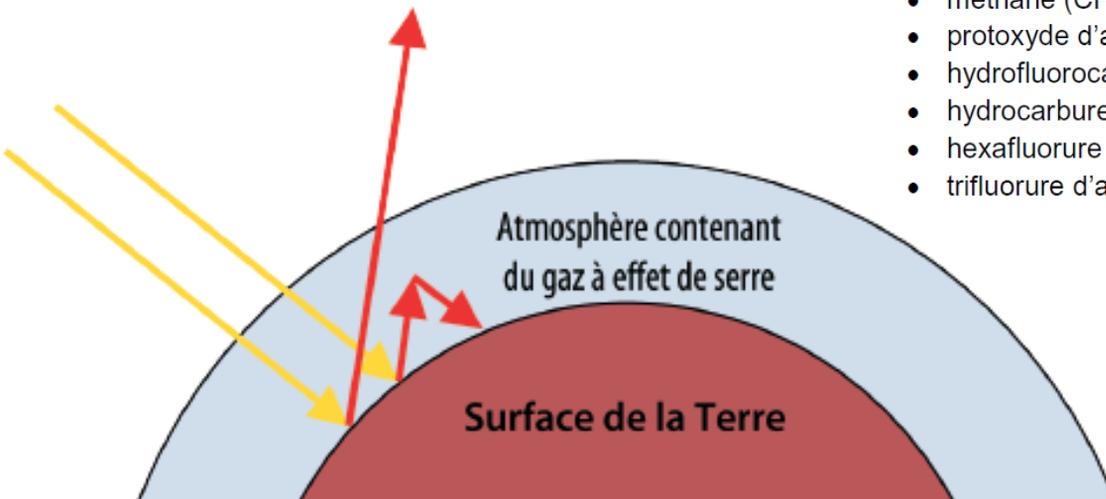
Figure 1. World Energy Consumption by Source, Based on Vaclav Smil estimates from Energy Transitions: History, Requirements and Prospects together with BP Statistical Data for 1965 and subsequent

- Le cycle énergétique ne devrait pas menacer le bien-être:
- On en est loin: à l'échelle mondiale, 85% de l'énergie employée est d'origine fossile (émettant du CO₂) et 2% nucléaire. → déboisement, pollution, guerre, réchauffement climatique, spéculation.
- La transition énergétique comme un projet non seulement économique mais écologique (Oikos): par l'humain pour l'humain, assainir et mobiliser le renouvelable
- Finalement, il en va du maintien du bien-être.
- [Attention aussi à la question des matériaux
→ initiative économie verte]



2. L'enjeu climatique: scénarios de réchauffement du GIEC

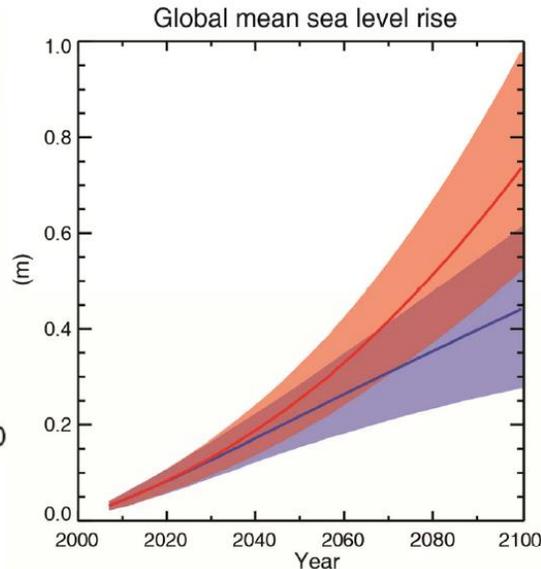
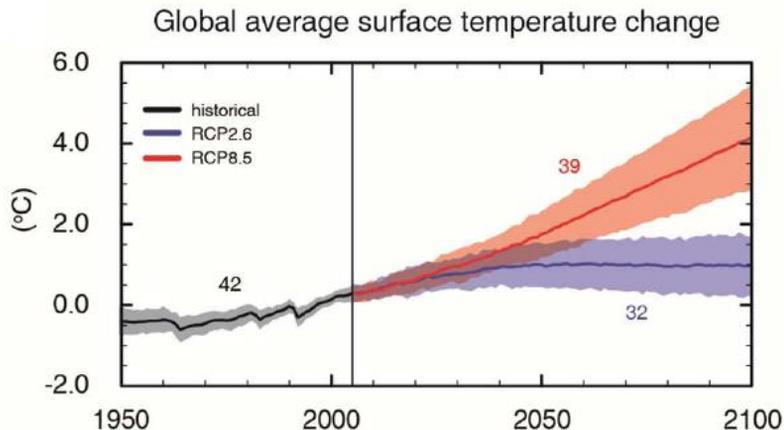
L'effet de serre



Les gaz à effet de serre

- dioxyde de carbone (CO_2)
- méthane (CH_4)
- protoxyde d'azote (N_2O , gaz hilarant)
- hydrofluorocarbones (HFC)
- hydrocarbures perfluorés (PFC)
- hexafluorure de soufre (SF_6)
- trifluorure d'azote (NF_3)

Les prévisions du Groupe d'experts intergouvernemental sur le climat 2013 (GIEC – IPCC)



Effet de serre: explication?

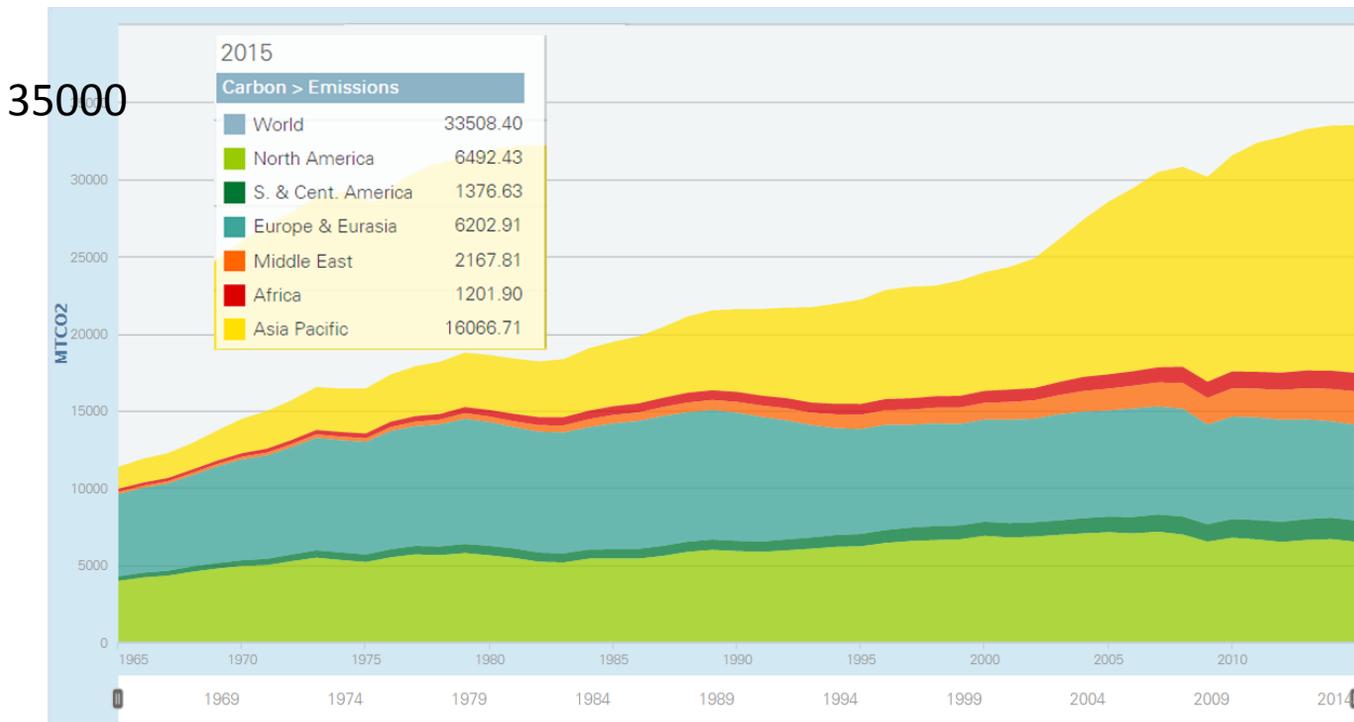
Scenario	Cumulative CO ₂ Emissions 2012–2100 (in GtC ^a)	
	Mean	Range
RCP2.6	270	140 to 410
RCP4.5	780	595 to 1005
RCP6.0	1060	840 to 1250
RCP8.5	1685	1415 to 1910

Notes:

(a) 1 Gigatonne of carbon corresponds to 3.67 GtCO₂.

Les émissions de CO2 directes l'énergie 1965-2015

Millions de tonnes / an



Source: <http://statsreview.bp.com/energychartingtool/index.html>

- CO2 de l'énergie et de l'industrie (ciment) = 2/3 des gaz à effet de serre
- Attention aux émissions de CO2 «grise» dans les pays exportateurs de biens

3 Pro-memoria: l'hypothèque nucléaire

Danger dans toute la chaîne d'exploitation

- Extraction du minerai, puis de l'uranium
- Enrichissement l'uranium
- Traitement chimique pour former du dioxyde d'uranium
- Exploitation de la centrale: 500 réacteurs, 5 fusions du cœur = au moins 1% des réacteurs finissent leur vie par une catastrophe → impact sanitaire catastrophique: cancer, mutation, zone inhabitable pour des décennies
- Retraitement chimique, pour séparer les différents éléments et préparer le stockage (y-c plutonium à usage militaire)
- Le démantèlement
- La question du stockage (demie-vie du plutonium: 24'000 ans)
- Entre les étapes, la question du transport



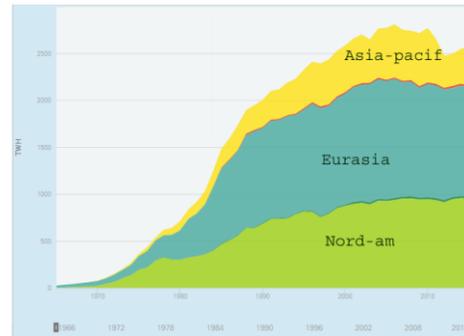
Le problème économique du nucléaire

- Coût de construction de plus en plus élevé, nécessite une durée d'amortissement très longue (60 ans).
- Hinkley point avant Brexit: 13 ct/KWh > éolien et solaire au sol.
- Risque d'échec pendant les 20 ans de planification et construction
- Risque d'arrêt pendant l'exploitation (p. ex catastrophe nucléaire ailleurs).
- Coût du démantèlement et des déchets.
- Concurrence des renouvelables (et du charbon).
- Rentabilité douteuse des rééquipement
- Ceci malgré assurance offerte par l'Etat
- De facto: pas de nucléaire sans argent étatique, de préférence dictature.

Production mondiale l'électricité nucléaire

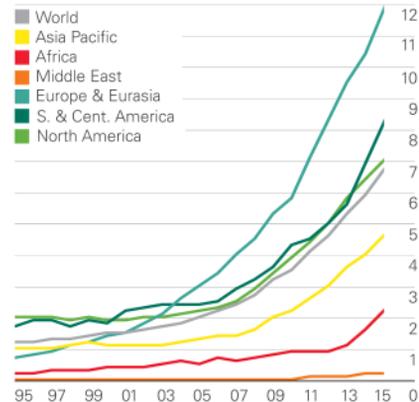
= 2577 TWh = 10,6% électricité

= 2% de l'énergie finale consommée



Part électricité renouvelables sans hydro, en %

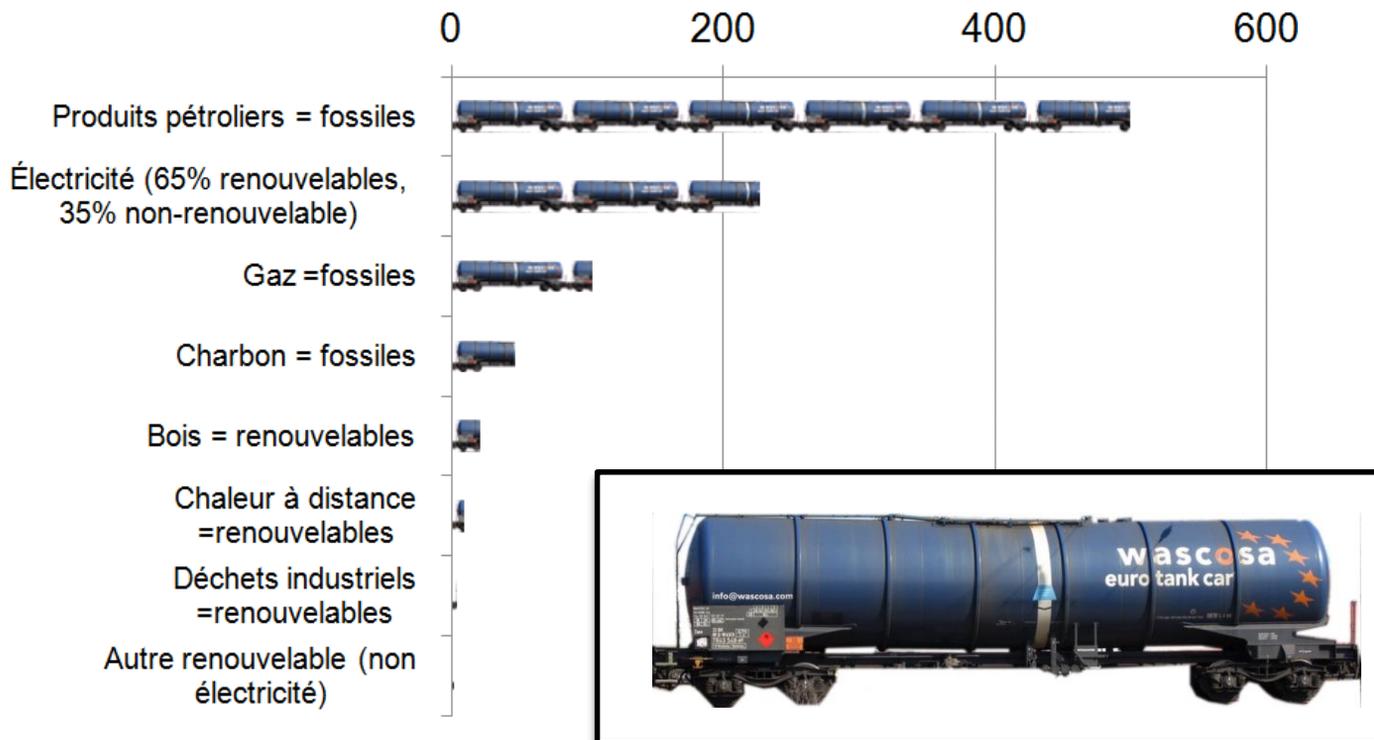
2015 = 1612 TWh = 6,7% de l'électricité globale



Source:
tools.bp.com/energy-charting-tool.aspx

4) Les données du problème en Suisse

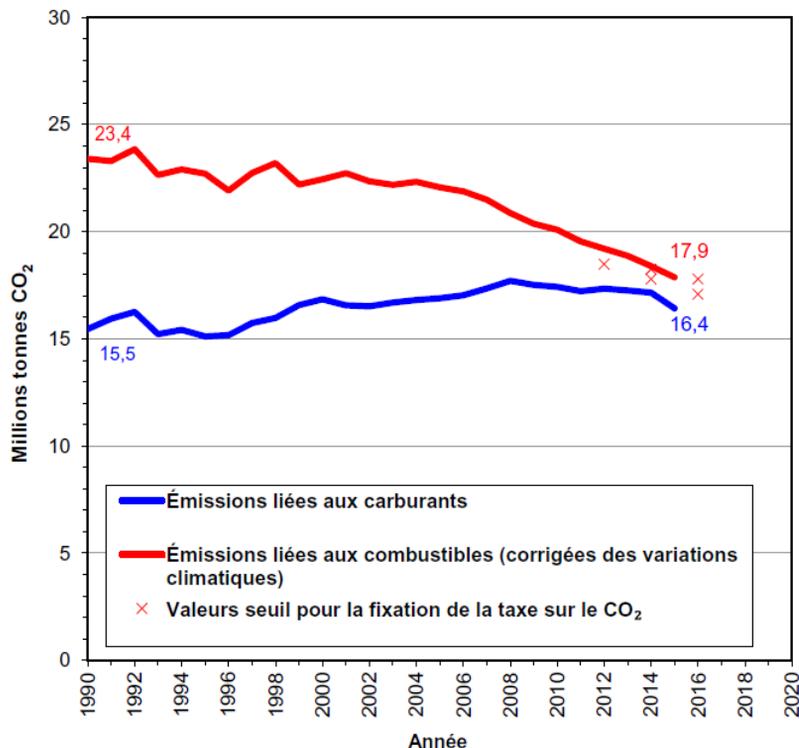
(Consommation journalière énergétique CH 2013, en équivalent wagons-citerne)



Attention: sans l'énergie grise!

Source. Statistique de l'énergie 2014 et calculs propres (60 To Pétrole par Wagon-citerne)

Emission de CO2 d'origine énergétique en Suisse



1990 → 2015

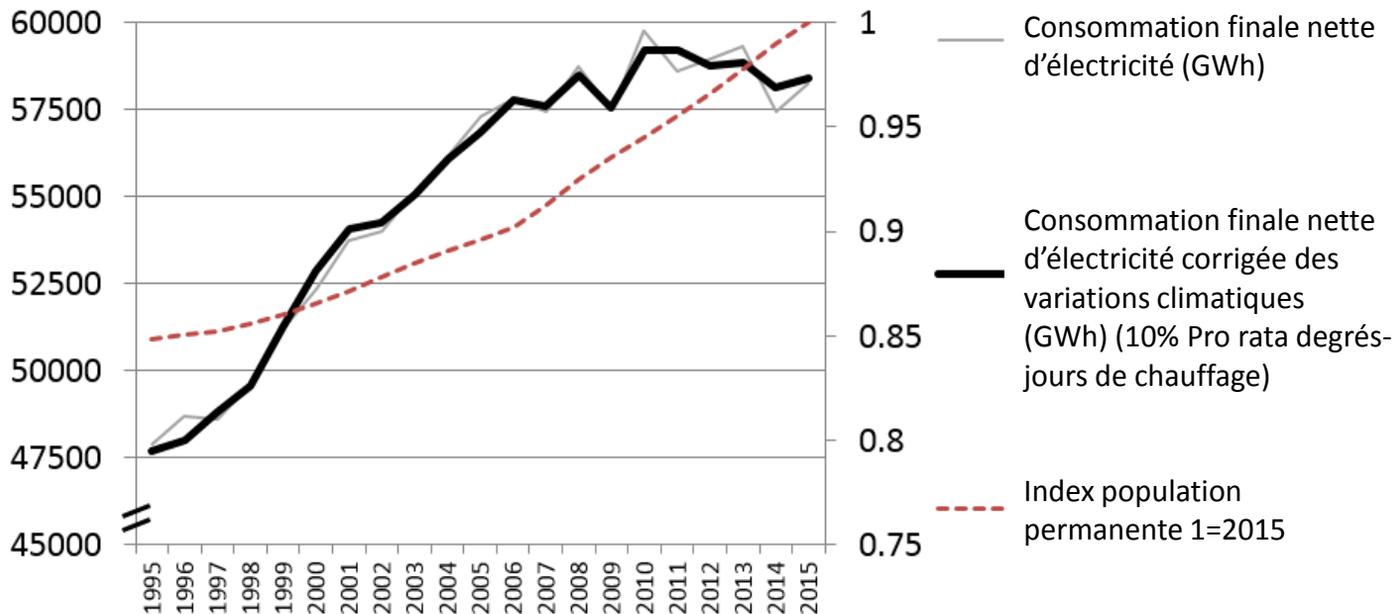
Combustible =
(Mazout + gaz) -
23.4%

Carburant (Diesel +
essence sans
Kérosène) : + 6,3%

= trois quarts des
Gaz à effets de serre
(GES: -9,3% de 1990
à 2014)

Aviation (non
inclus!) = un dixième
4,8 moi To!

Consommation finale d'électricité en Suisse 1995 à 2015 (GWh)



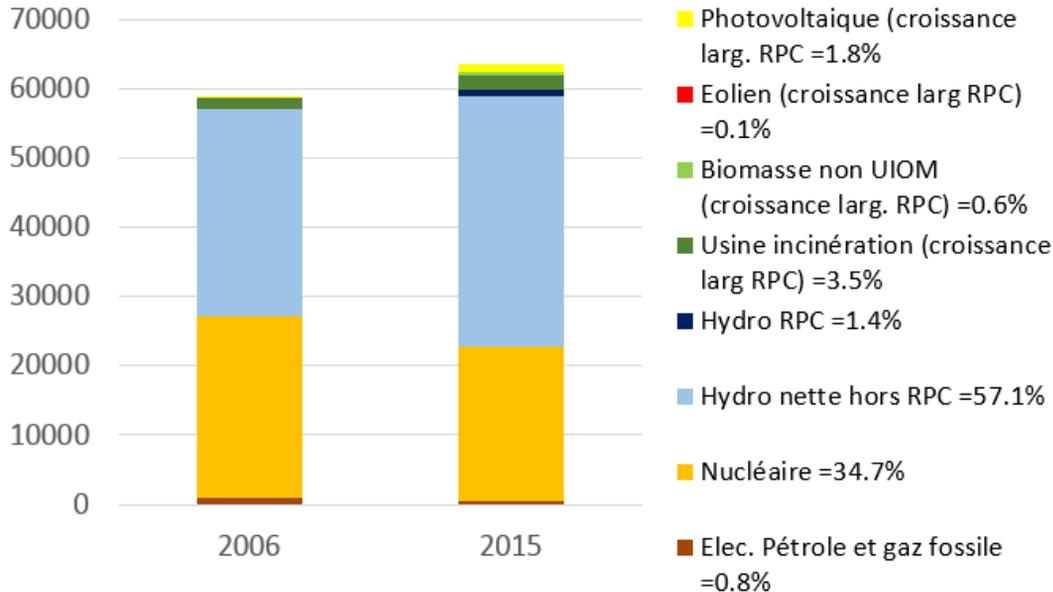
Incertitude sur les causes du trend de stabilisation: appareil, assainissement bâtiment, désindustrialisation?

Source des calculs:

http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00630/index.html?lang=de&dossier_id=00769

Et OFS: T 1.1.1.1 + cc-f-1.1.1.3.3

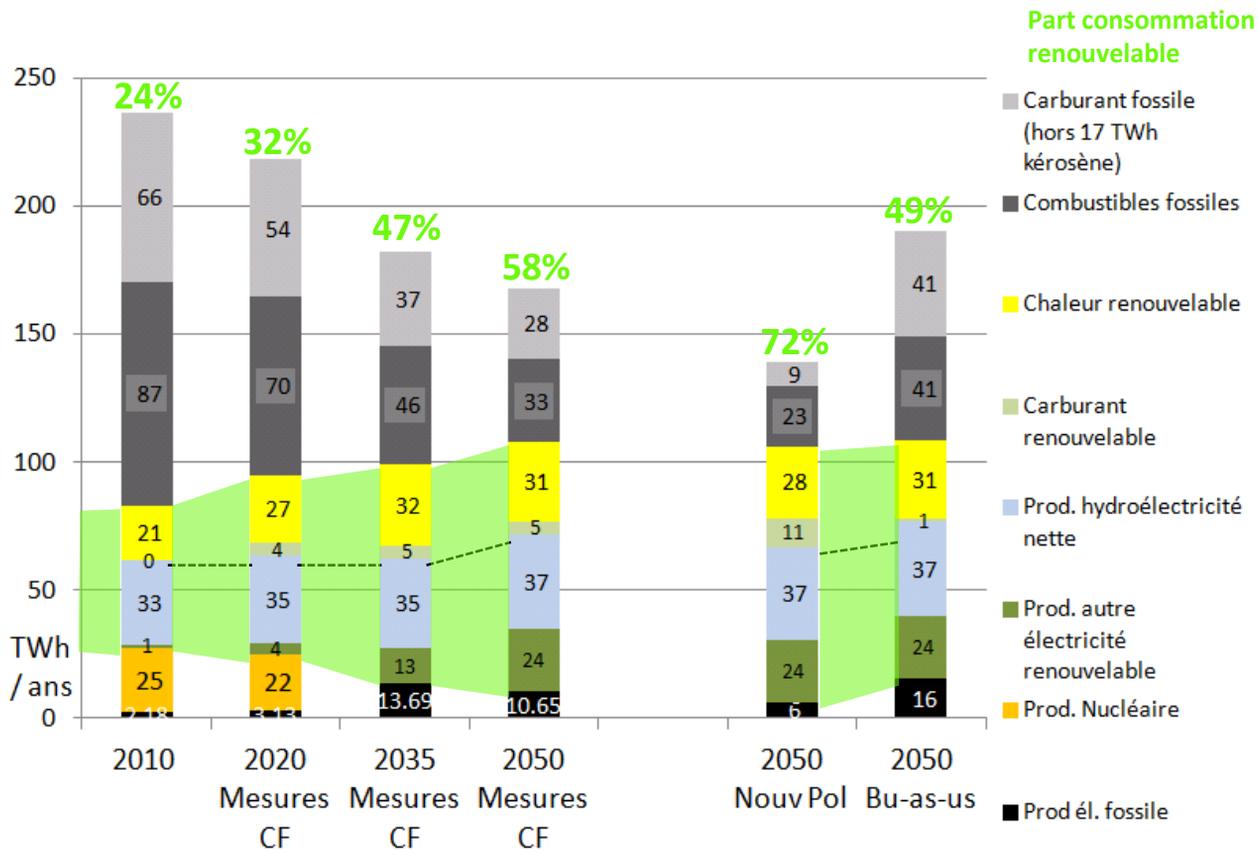
Production électrique suisse GWh



Synthèse RN sur la base de: Statistique de l'électricité BFE, Swissgrid et statistique des énergies renouvelables

- En Suisse: presque pas de production électrique fossile (mais importation). Par contre, 66% de l'électricité mondiale est d'origine fossile, dont 41% produite avec du charbon. Monstrueuse émissions de CO2 (¼ GES), donc enjeu climatique
- Part des nouvelles énergies renouvelables dans mix électrique, la Suisse 6% < moyenne mondiale 6,7% !

5 La stratégie énergétique 2050 de la Suisse



Stratégie dans le bâtiment

Assainissement

- Isolation de l'enveloppe (murs, fenêtres, toit, sol)
- Assainissement du système de chauffage (y compris part d'énergies renouvelables, en particulier solaire thermique)
- Utiliser le solaire passif (p. ex veranda).
- Assainissement des installations techniques (ventilations, moteurs, climatisations, éclairage, cuisine, etc)
- Densification

Nouvelles constructions (et reconstruction)

- Hautes performances
- Géométrie: utiliser le solaire passif
- Emplacement accessible en transport publics



Immeuble d'habitation La Cigale, Genève, rénovation Minergie-P. 1670 m² de capteurs non vitrés couvrant 52% du besoin total en énergie. Prix Solaire Suisse 2014



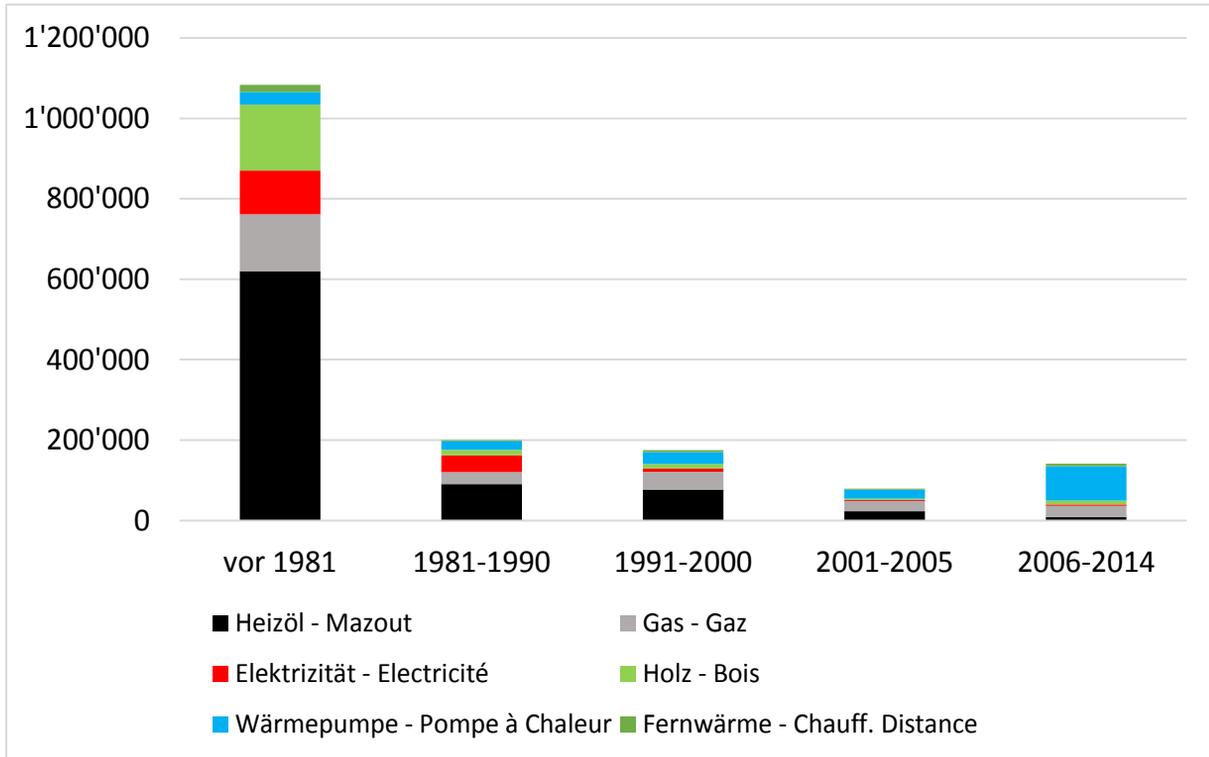
Immeuble d'habitation rénové à Oberengstringen. Installation PV de 31 kW couvrant 131% du besoin total en énergie. Prix Solaire Suisse 2015



Bâtiment multi-usage «Kohlesilo», Bâle. Installation PV en façade et toiture, couvrant 37% du besoin total en énergie. Prix Solaire Suisse 2015

Le potentiel de la modernisation des chauffages

1,7 million de bâtiments d'habitation en Suisse, selon l'époque de construction et les 6 principales sources de chauffage



Source des données du graphique:

<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/09/02/blank/kev/gebaeude/heizung.html>

Mesure «bâtiments» dans le paquet SE 2050

Le paquet 1:

- Taxe CO2 combustible, passage progressif de 9 à 30 ct/ litres (déjà dans la Loi. 22 ct en 2016)
- Renforcement du programme Bâtiments, avec unification des 2 moitiés (isolation et énergie renouvelable).
 - 450 millions CHF dès 2014 (déjà dans la loi) (contre 300 actuellement)
 - Environ 525 millions CHF dès entrée en vigueur
 - Aussi pour bâtiments chauffés à l'électricité.
- Renforcement des standards pour les appareils, la technique du bâtiment
- Optimisation de l'exploitation des bâtiments.
- Renforcement des incitations fiscales (divergence: CN oui, CE non).

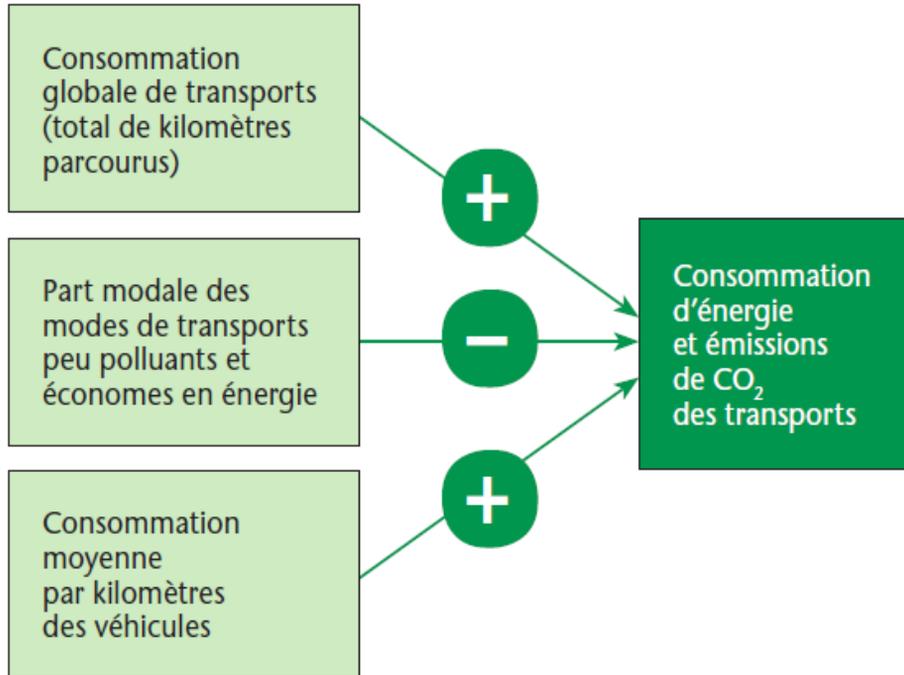
Complété par les mesures cantonales: Modèle de prescription énergétique des cantons

La stratégie pour la mobilité

Pas de
mesure.
Que faire?

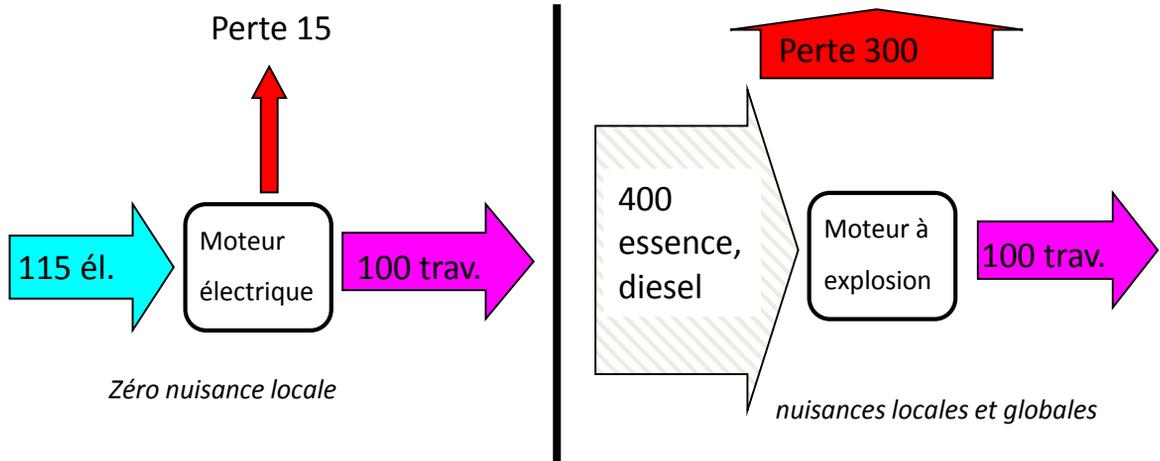
Contradictoire:
FAIF, puis Forta

SE 2050 efficace
(CO₂/KM)



L'électricité = atout décisif pour la transition

Moteur très efficace, peu de pertes



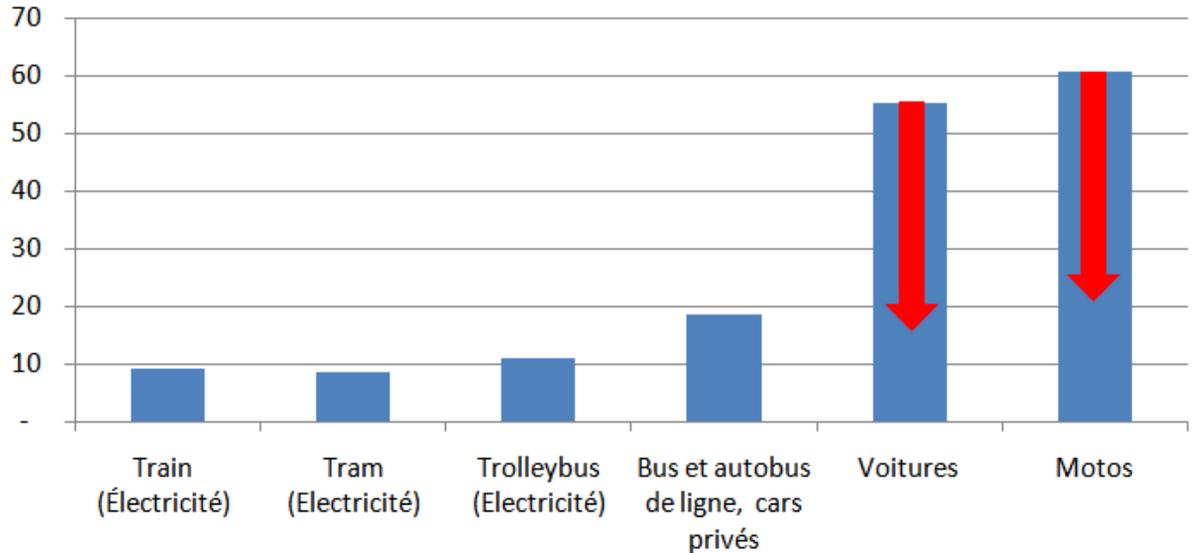
- L'électricité est très efficace dans son utilisation (excellent rendement)
- Elle peut être produite de manière propre (éolien, solaire), contrairement aux « agro-carburants »

Contre-indications:

- si émissions de CO₂ en masse pour produire cette électricité
- électricité d'origine nucléaire

Consommation énergétique des modes de transports

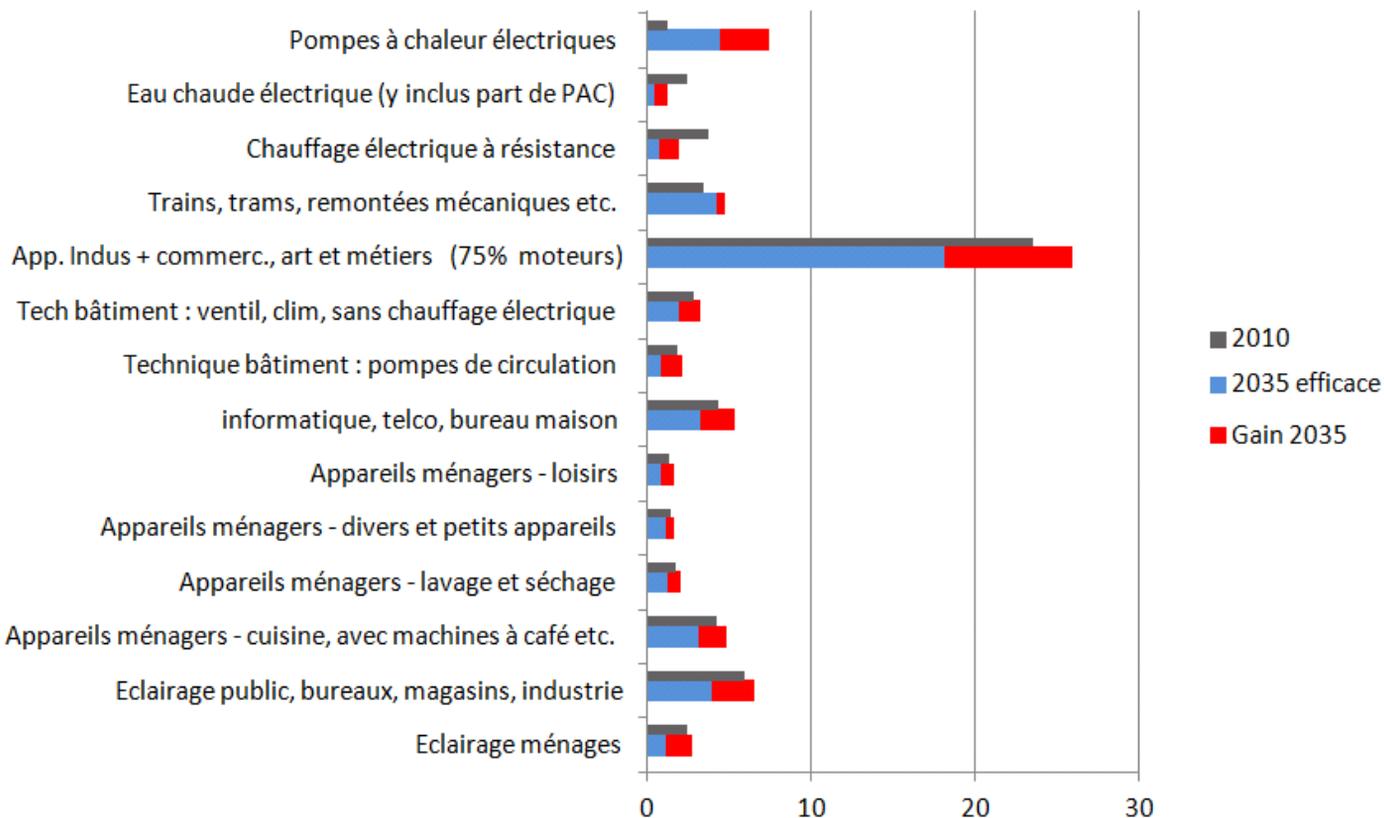
(KWH consommés en moyenne pour transporter une personne sur 100 kilomètres, en 2008)



Stratégie pour l'électricité

- Renforcement de l'encouragement à la production renouvelable (prélèvement financement passe de 1,5 à 2,3 ct/ KWh)
- «contribution unique» aussi pour les grandes installations PV.
- Modeste soutien provisoire à hydro existant et investissement.
- Limitation nouveau octrois «RPC conventionnelle» à 2023 (hélas),
- Effet global: remplacement de la moitié du nucléaire.
- Bon premier pas, mais nécessite un renforcement ultérieur.
- Mesures plutôt cosmétiques pour l'efficacité électrique (hélas)

Le potentiel de gain d'efficacité dans l'électricité (TWh)



Consommation nette 2010 = 60 TWh.

Trend 2035 = 70.8 TWh.

Avec gain d'efficacité en 2035 = 44.9 TWh (sans conso add. Mob individuelle électrique)

Eclairage exemple mon bureau:

- **Avant:** $6 * 50 \text{ w} = 300 \text{ w}$
(2000h/an, 20 ct/KWh =
Fr. 120.-/ an)
- **Après:** $6 * 4,5 \text{ w} = 27 \text{ w}$
(2000h/an, 20 ct/KWh =
Fr. 10.80 /an)

Eclairage absolument
identique, économie **Fr.
109.20 /an**

Achat des ampoule LED:

6* 9.95 = 59.70.

Amorti en moins d'un an.

Durée prévisionnel de
l'ampoule: 7 ans.



6. Initiative pour la Sortie programmée du nucléaire

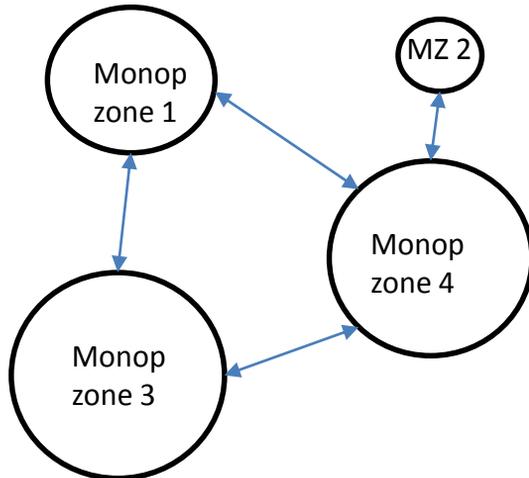
	Initiative pour la sortie programmée du nucléaire	Stratégie énergétique 2050 Paquet 1
Rang:	Constitutionnel	Législatif: Loi Energie +1 dizaine
Votation:	Obligatoire, double maj. 27 novembre 2016	Si référendum. Récolte oct. à déc. 2016, Vote: probablement 21.5.2017
Nucléaire	- Interdictions nouvelles centrales - Durée max 45 ans pour existantes	-Interdiction nouvelles centrales - Ni limitation durée ni sécurité accrue pour centrale existantes
Renouvelable	Engagement de principe Zéro mesure concrètes	Mesure concrètes pour la moitié du chemin
Efficacité	Engagement de principe Zéro mesure concrètes	Fortes mesures concrètes pour le fossile (voitures et bâtiment) Faiblard pour efficacité électrique

Le PS soutient l'initiative et stratégie énergétique 2050, car complémentaires. Mais il faudra ensuite aller plus loin (paquet 2 SE2050 à revoir en profondeur)!

Partie II: La question du « marché » de l'électricité

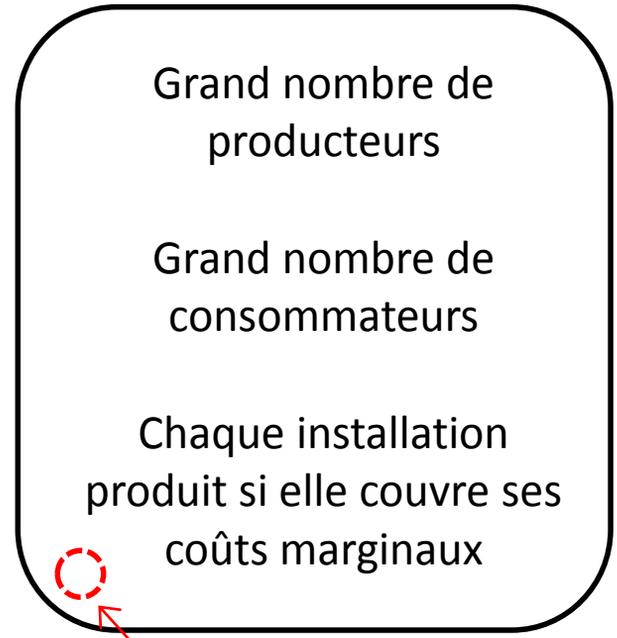
7. Le (dys-)fonctionnement du marché électrique

Avant: monopoles territoriaux
de fait pour l'énergie
(et réseau)



Chaque zone couvre ses coûts totaux
Echange à la marge, au prix marginal,
entre les monopolistes, à l'échelle du
continent.

Maintenant: concurrence à
l'échelle européenne
(sauf réseau)



CH: petit clients finaux non libéralisés

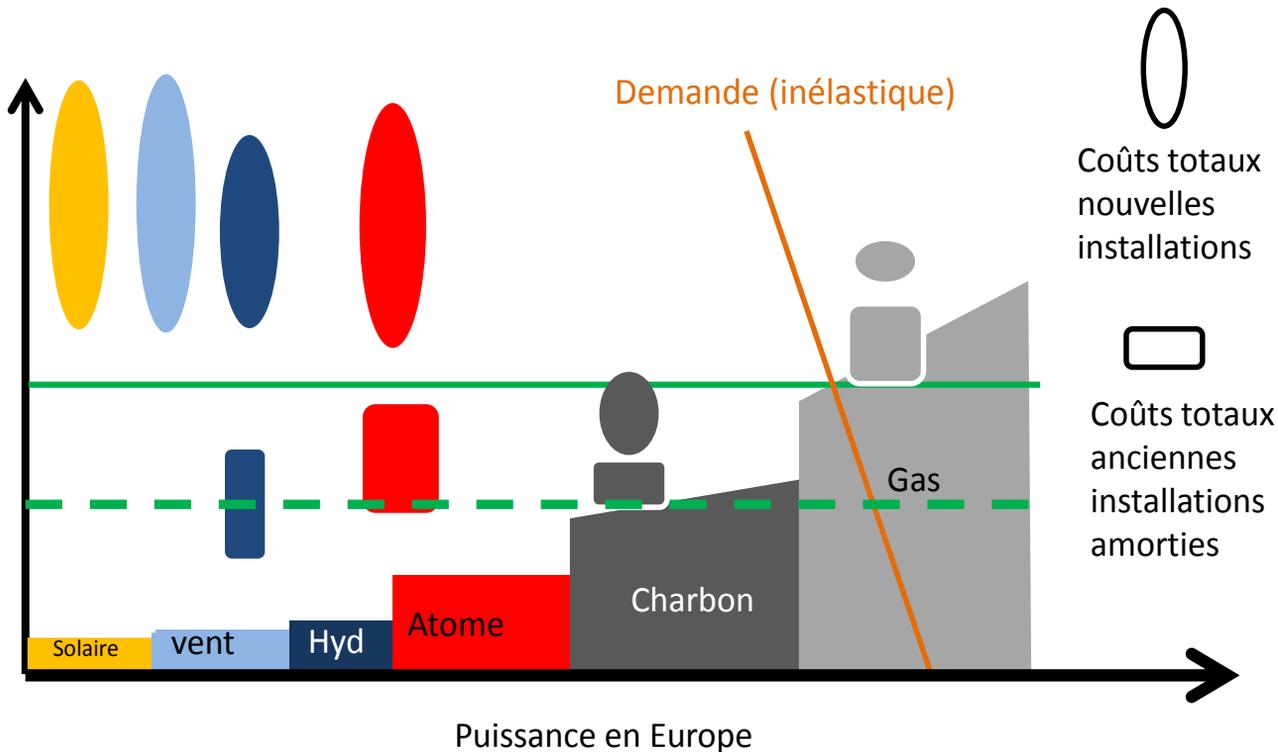
Structure de coût de la production électrique (sans coûts externes)

Technologie	Coûts d'investissements initiaux	Coûts marginaux (= coût pour produire un KWh de plus)	Coûts démantèlement + déchets
Hydraulique Photovoltaïque éolien	Elevés	Nuls ou bas.	Négligeable
Charbon (1 KG de CO2 par KWh)	Bas	Moyens (dépend du prix CO2 et du marché du charbon).	Négligeable
Nucléaire	Elevés	Bas	Très élevés
Biomasse	Moyens	Élevés (récolte, manutention)	Négligeable
Gaz (450 Gr. CO2 / KWh)	Bas	Elevés (Achat du gaz et accessoirement des droits CO2)	Négligeable

Les coûts marginaux de la dernière installation dont on a encore besoin pour couvrir la demande déterminent le prix de l'électricité au moment t en Europe!

Coût marginal

Prix
Ct/ KWh



Défaillance de marché Nr 1: Pas de couverture des coûts totaux

- Abandon de la génération fossile = de + en + d'installation caractérisées par :
 - des investissements initiaux élevés („Sunk Cost“) : hydro, solaire, éolien (nucléaire: idem, mais Sunk-cost aussi à la fin).
 - des coûts marginaux bas: que l'on arrête ou que l'on enclenche une installation solaire, hydro ou nucléaire ne change quasiment rien aux coûts.
- Prix spot de la bourse: coût marginal de la dernière installation dont il y a encore besoin en Europe pour couvrir les besoins. Très bas, sauf lorsqu'il faut employer beaucoup de gaz.
- Cette dernière installation (et beaucoup d'autres) ne couvre pas ses coûts fixes (personnel, amortissement, capital). → **Missing Money problem.**
- Pas un problème grave pour une ancienne installation amortie. Problème rédhibitoire pour investir: aucune perspective d'amortissement et de rendement, surtout avec le longues durée d'amortissement.



Défaillance de marché Nr 2: coûts externes

- On pille la ressource naturelle à bas coût, ce qui prive les générations futures d'un climat maîtrisé et d'un usage futur de la ressource.
- Une grande partie des coûts ne sont pas ou pas suffisamment intégrés de le prix de vente de l'électricité (réchauffement climatique, assurance nucléaire, gestion des déchets radioactifs)
- Nous sommes loin d'une allocation optimale des ressources.

Le marché électrique non régulé est une chimère

- Pas de marché «à l'équilibre naturel» avant le «péché original de l'intervention étatique». L'état naturel = monopole de zone.
- L'équilibre à long terme? Oligopole à l'échelle européenne ≠ le contraire d'un marché
- L'engagement de gaz et de charbon maintenait les prix de gros à un niveau moyen ou élevé. Sera de plus en plus rare. Or, c'était ce qui permettait le fonctionnement du marché, en donnant une marche de couverture à l'hydro et au nucléaire.
- La libéralisation a plus contribué à tuer le nucléaire que Tschernobyl et Fukushima réunis
- Personne ne construit d'installation sans une aide à l'amortissement: RPC renouvelable ou modèle «Hinkley» point (UK: RPC nucléaire indexée + garantie d'emprunts).
- Tel qu'il fonctionne aujourd'hui: le marché consiste à vivre de la substance sans la renouveler, avec un jour une pénurie et hausse brutale des prix après phase de sous-investissement

8. Pilotage ou retour au monopole?

Mérites du monopole

- Amortissement et coût du capital inclus dans prix
- Efficace, risque réduit, coût du capital avantageux («contrat de partenaires»).
- Bonnes conditions de travail
- Gains pour les collectivités publiques (pertes de toute façon pour elles)

Limites du monopole

- Peu d'innovation
- Combattu les nouvelles énergies renouvelables
- Pilotait la pol. énergétique (ex. chauffage électrique).
- Convenait à l'ancien monde construit autour de centrales, mais dépassé par la décentralité du renouvelable (analogie TV → internet).

A l'avenir: marché pour le court terme, l'état pour le long terme ?

Le marché pilote l'exploitation du parc électrique

- Décision instantanée sur enclenchement / déclenchement sur la base du signal du prix (aussi pour stockage et consommation). Facilite l'adaptation de la conso à la météo.
- Flexibilisation croissance grâce à IT
- Effet croissant du stockage
- Fonctionne mieux si internalisation des coûts externes (principalement CO2), via taxe ou certificat, sinon distorsion du marché.

L'Etat déclenche l'investissement

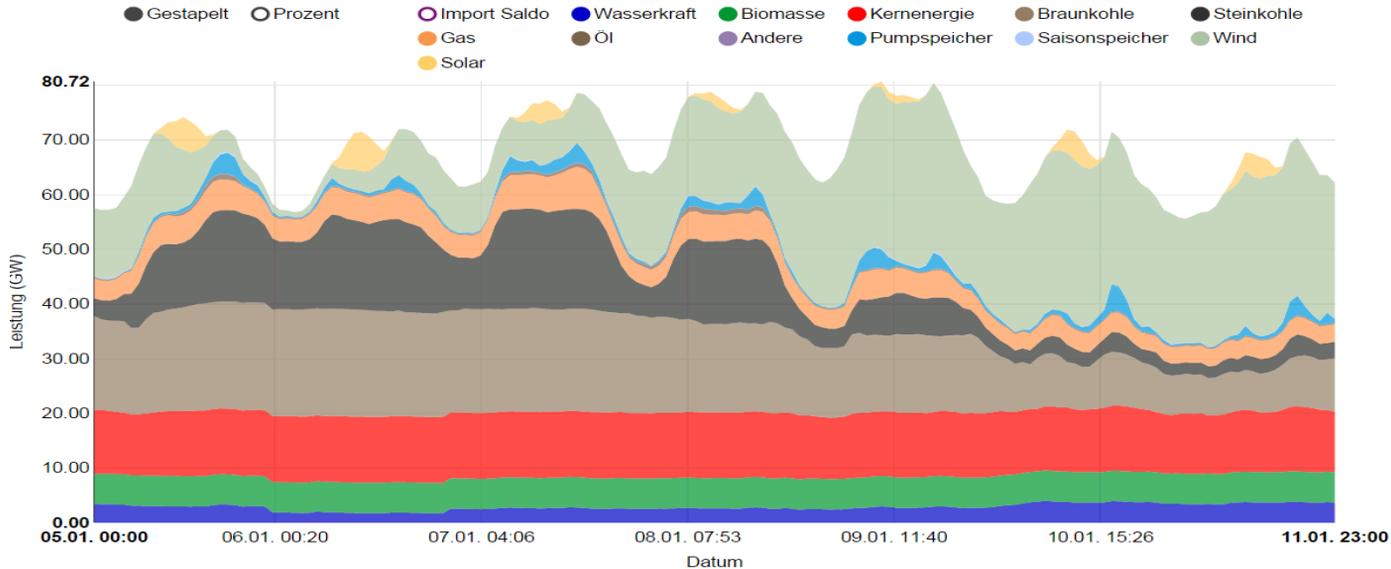
- Un mécanisme solidaire (=légal) permet le financement des nouvelles installations. Financé au prorata des KWh par tous les utilisateurs d'électricité (**mais pas la caisse publique!**)
- Grâce à cet argent: prise en charge partielle de l'amortissement des nouvelles installations (RPC, aide à l'investissement ou analogue)
- Planification approximative à long terme pour pouvoir gérer le refinancement, c'est-à-dire fixer les priorités et la vitesse d'investissement.
- Inévitable vu la lenteur de la construction et la longévité des installations:
 - Échéance pour lesquels le marché ne donne pas de signal.
 - Horizon dépassant la capacité des investisseurs privés.

Sinon, personne n'investit avant une pénurie extrême.

(réseau = monopole naturel → public).

5. La dynamique avec beaucoup de renouvelable

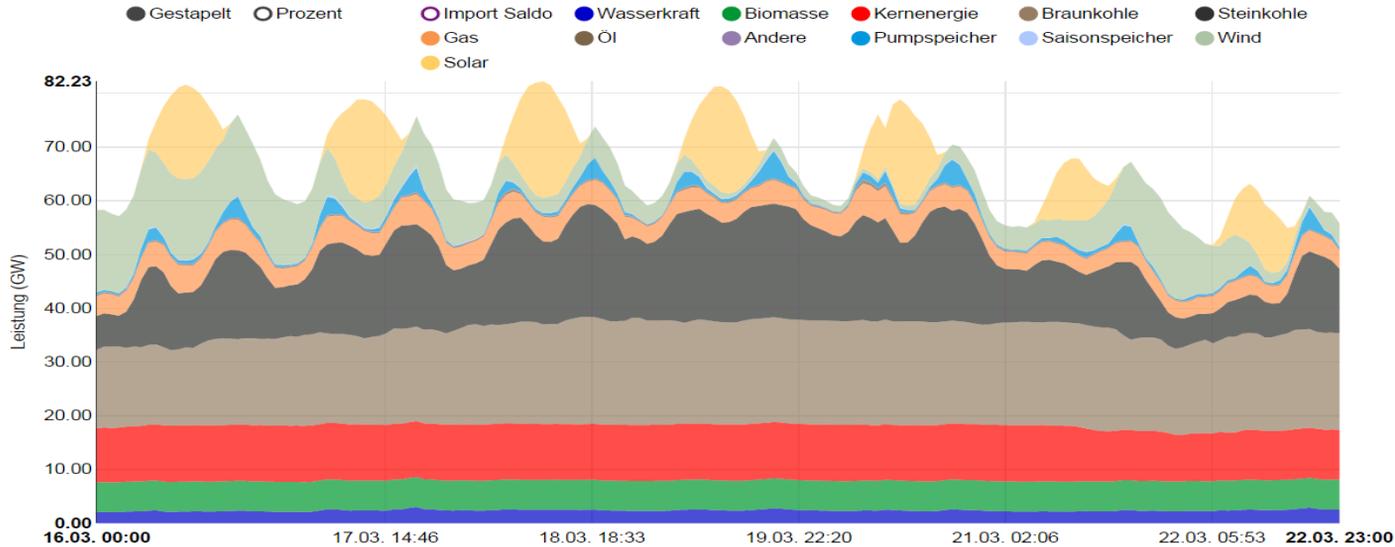
Allemagne - semaine du 5 janvier 2015
(1/6 de l'Europe - Pas trouvé les mêmes données pour toute Europe)



Graphique du Fraunhofer institut: https://www.energy-charts.de/power_de.htm

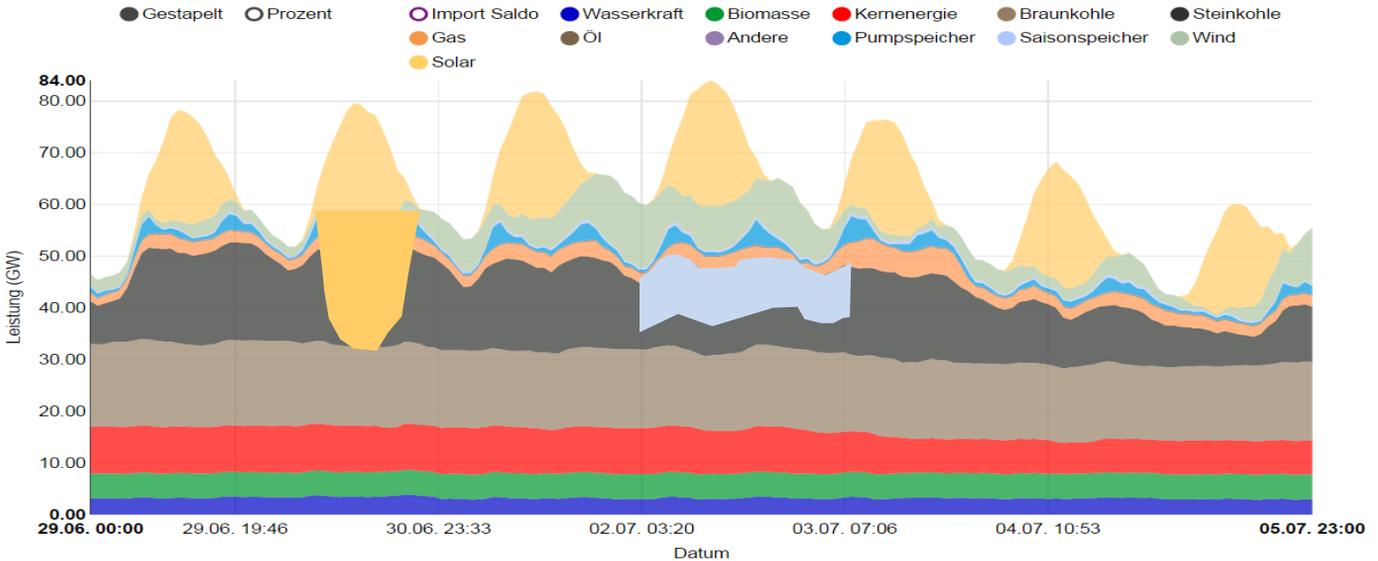
Allemagne: semaine 16 du mars 2015

(éclipse solaire le vendredi!)



Graphique du Fraunhofer institut: https://www.energy-charts.de/power_de.htm

Allemagne: semaine du 29 juin 2015

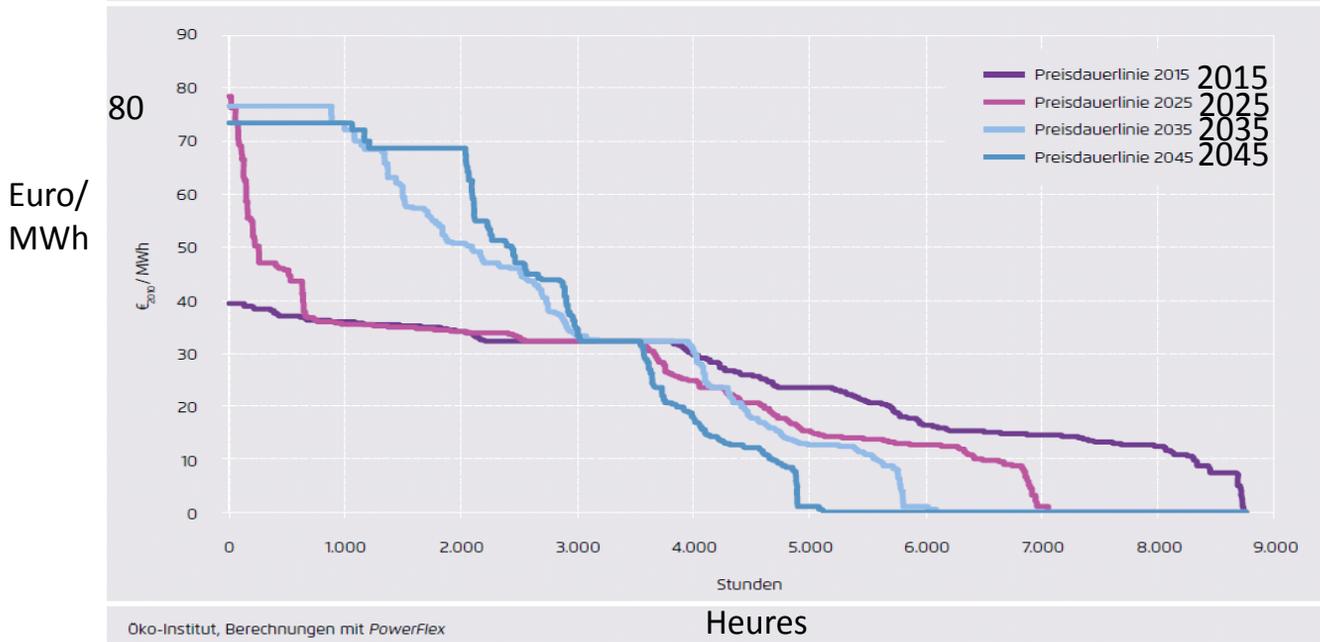


Graphique du Fraunhofer institut: https://www.energy-charts.de/power_de.htm

Evolution possible de la structure des prix de 2015 à 2045 sur le « Energy Only Market », sur les 8760 heures de l'année, classées de la plus chère à la moins chère.

Typische Jahresdauerlinien der Strompreise am Energy-only-Markt, 2015 bis 2045

Abbildung 2



Oko-Institut, Berechnungen mit PowerFlex

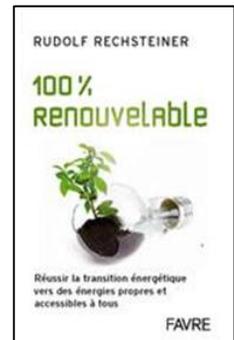
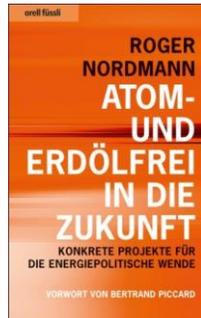
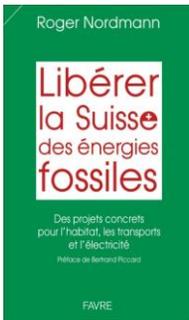
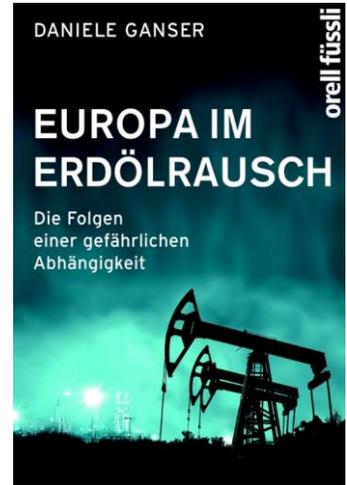
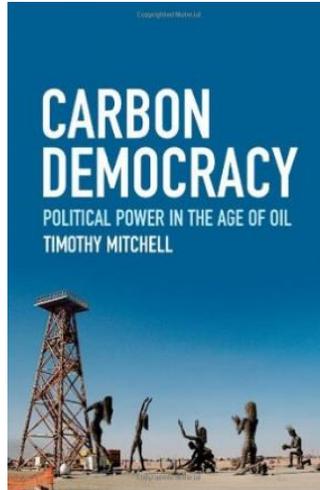
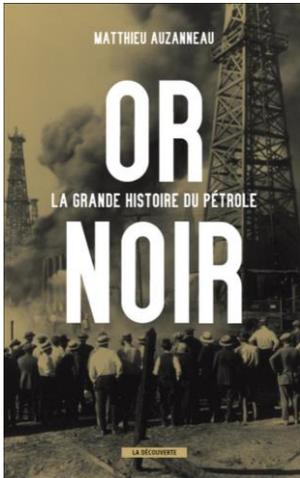
9 Le stockage pourrait changer la donne

- Les installations de stockage hydro (sans pompage préalable) pourraient retrouver leur attrait dans moins de 10 ans si la transition va vite.
- Pompage: arbitrage de prix (1 ct – 5ct). Investissements arrivés trop tôt
- Les concurrents en matière de stockage
 - A court terme: concurrence des batteries pour le stockage jour-nuit... Très intéressant économiquement pour les auto-producteurs (Pas du tout concurrentiel pour le stockage saisonnier ou même mensuel).
 - Jockers: air comprimé, surcapacité solaire, pooling européen
 - Saisonnier: « power-to-gaz »: l'infrastructure de stockage est déjà disponible (réseau de gaz), mais faible efficacité (30% à 50% selon si hydrogène ou méthane). Dans le « merit-order » du stockage, le pompage-turbinage pour des installations existantes est rentable avec un delta de prix plus petit.
 - Le stockage pourrait resserrer la plage des prix et corriger partiellement les dysfonctionnements du marché.

Conclusion

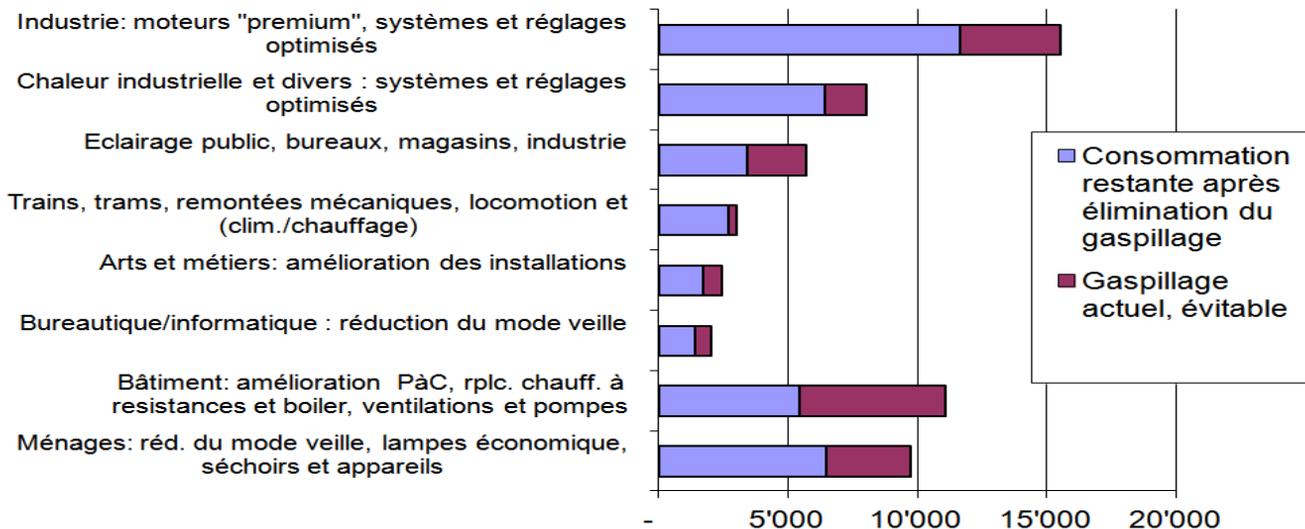
- **Le solaire, l'éolien et la biomasse doivent gagner en importance comme jadis l'hydraulique. Les technologies sont disponibles.**
- La production décentralisée (par analogie à Internet vs. TV) est une chance. **L'énergie sera fournie par un grand nombre de personnes.**
- **Les alternatives à la stratégie énergétique 2050 ne sont pas souhaitables:** relance et financement étatique des centrales nucléaires, importation d'électricité (sale) et maintien de la consommation fossile. La stratégie énergétique 2050 pose les bases d'une première étape substantielle **pour la transformation de notre système d'énergie.**
- La stratégie énergétique est un projet qui recèle des **chances énormes pour la Suisse.** Il faut un engagement commun pour un oui dans une votation!
- L'enjeu énergétique est global. Depuis le début du 20^{ème} siècle, **la plupart des conflits armés sont liés au pétrole et parfois à l'uranium.** Souvent, l'accès aux stocks d'énergie fossile est la seule motivation des belligérants.
- **Le réchauffement climatique accroît la migration forcée.**
- Il ne sera possible de maintenir et d'étendre un niveau élevé de prospérité que si **l'humanité accroît drastiquement l'efficacité énergétique et mobilise les sources renouvelables.**

Merci de votre attention et bonne lecture



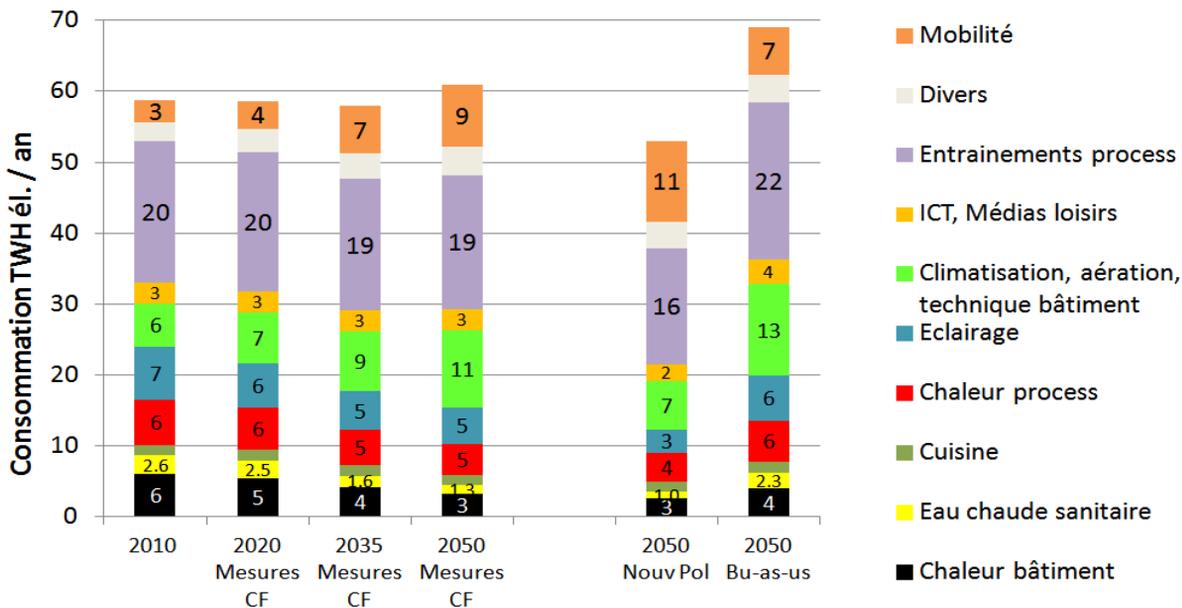
Le potentiel de gain d'efficacité dans l'électricité

Potentiel d'élimination du gaspillage dans l'utilisation de l'électricité, en GWh



Source: www.energieeffizienz.ch

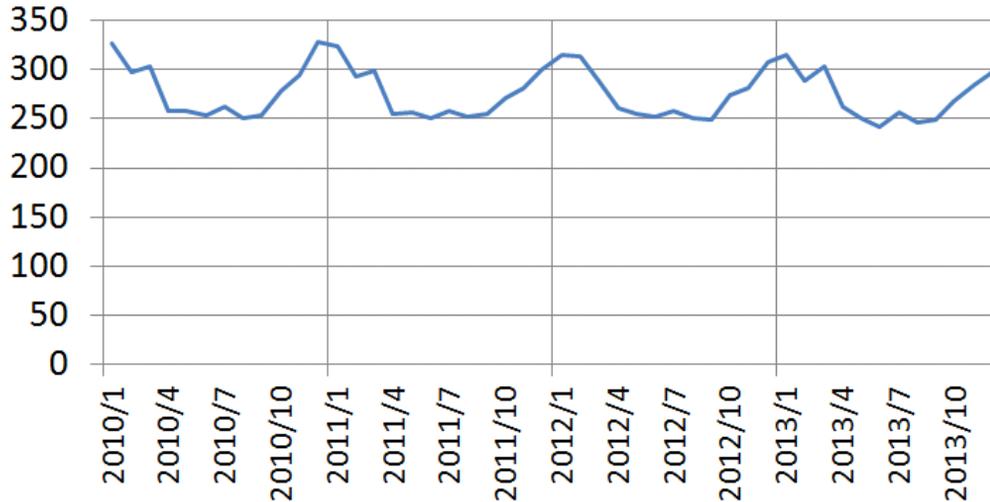
Consommation finale d'électricité: stabilisation visée



Source données: consultation / Prognos

Plus de demande en hivers qu'en été

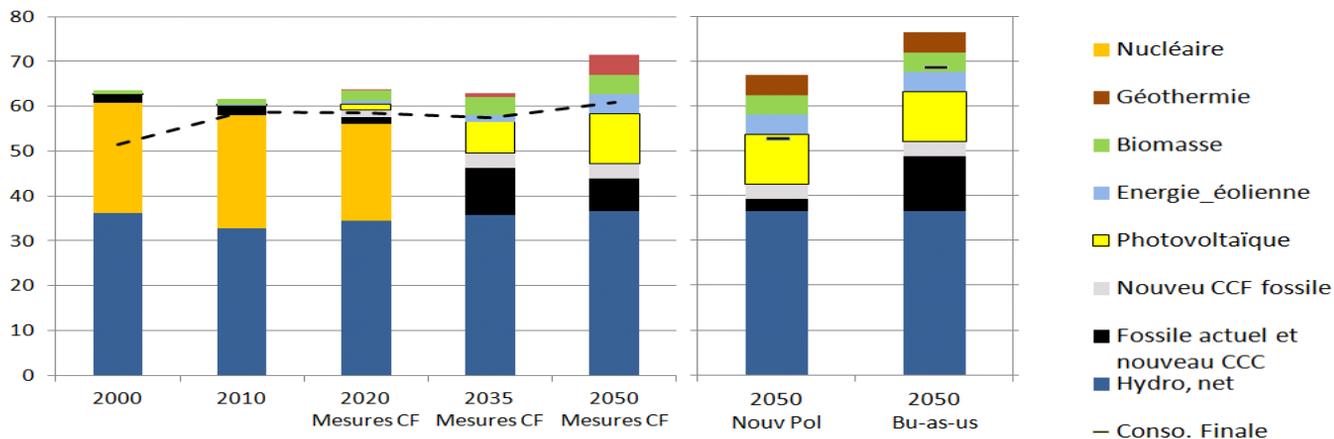
Consommation mensuelle 35 pays européens, TWh, 2010 à 2013



Graphique sur la base des données de : <https://www.entsoe.eu/data/data-portal/consumption/Pages/default.aspx>

L'offre d'électricité selon le Conseil fédéral

TWh



Swissolar propose 12 TWh en 2025 (=20%) plutôt que 11 TWh en 2020

Source des chiffres: Message CF 4.3.3 et Prognos