

La bifurcation des défis énergétiques entre le monde industrialisé et celui en émergence – des opportunités économiques spécifiques

Hans Björn (Teddy) Püttgen

Professeur, Chaire de Gestion des Systèmes Energétiques

Directeur, Energy Center

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Georgia Power Professor Emeritus, Georgia Institute of Technology

Fellow IEEE

HES SO Valais

Sion 27 août 2010



Les trois grands défis du 21^{ème} siècle



Une large disponibilité de services de santé, tant cliniques que préventifs, de par le monde.



La production et la distribution de nourriture à des prix abordables mondialement.



Ressources et cycle de l'eau

Production, stockage, transport, distribution et utilisation rationnelle de l'énergie.



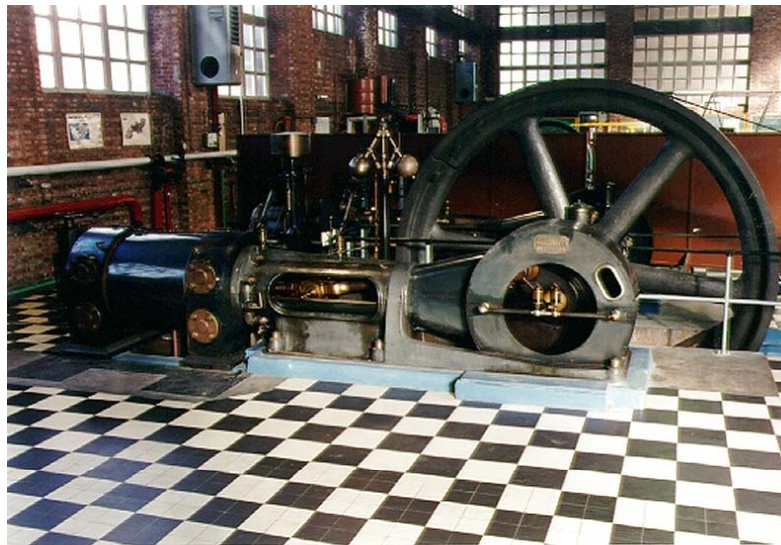
Arrière plan – 19^{ème} siècle

- Le début de la révolution industrielle a eu lieu au 19^{ème} siècle avec l'invention de la machine à vapeur à la fin du 18^{ème} siècle.
- L'ère de la consommation intense de charbon est dès lors lancée.

Le 19^{ème} siècle a été celui du charbon.

La durée de vie du CO₂ dans l'atmosphère est de 120 – 150 ans.

Le CO₂ maintenant dans l'atmosphère y a surtout été injecté par les pays industrialisés.



Arrière plan – 20^{ème} siècle

- L'électricité aura été le moteur du développement économique au début du 20^{ème} siècle.
- La révolution de la communication et de l'information a eu lieu durant la seconde moitié du 20^{ème} siècle, grâce aux technologies du semi-conducteur.
- La révolution des transports a également eu lieu durant le 20^{ème} siècle.

Le 20^{ème} siècle a été celui des hydrocarbures.



Arrière plan – Pétrole

- La fin de l'ère pétrolière aura probablement lieu durant le 21^{ème} siècle.
- Le pétrole, qui est surtout utilisé à des fins énergétiques et de transport, a beaucoup d'autres applications dans lesquelles il est encore irremplaçable (plastiques, engrais, etc.)
- La volatilité des prix des hydrocarbures est un véritable problème :
 - A US\$145 le baril, des technologies d'extraction plus difficiles deviennent rentables ainsi que les huiles lourdes (Venezuela) ou les sables bitumeux (Rockies en Amérique du Nord)
 - Un prix de US\$50 le baril ces mêmes technologies et ressources ne sont plus attrayantes
- Le temps du pétrole bon marché est probablement révolu alors que les niveaux de prix futurs seront avant tout dictés par les coûts d'extraction.

La concurrence des besoins internes dans les pays émergents également producteurs commence à peser sur les marchés.



Explosion démographique

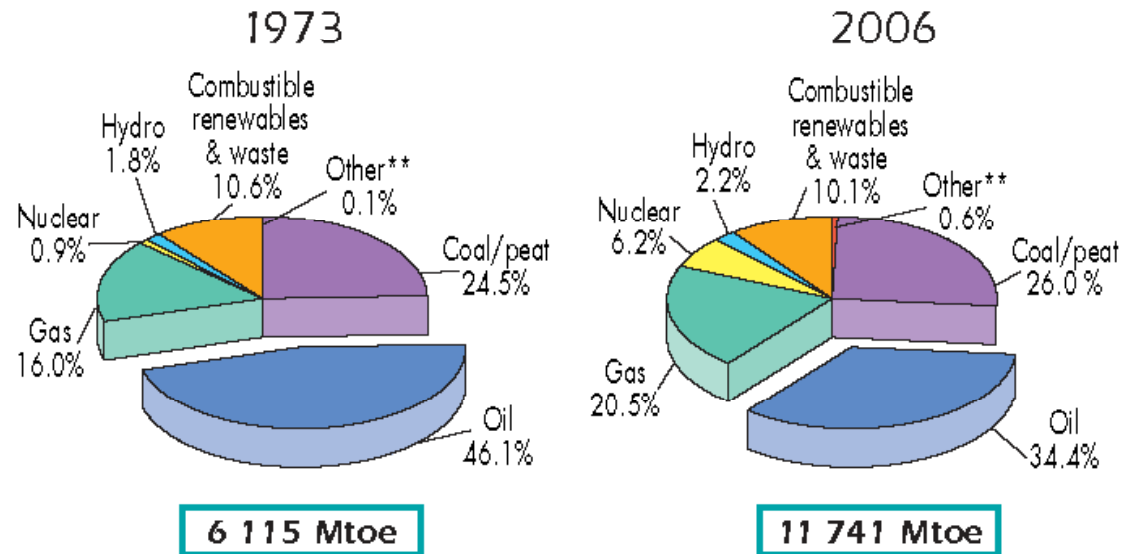
En 2050, la population mondiale aura atteint 9,1 milliards de personnes, une augmentation de 2,6 milliards par rapport à la situation en 2005.

En 2050 nous aurons donc :

- 3 milliards de personnes vivant dans des régions énergétiquement affluentes.
- 3 milliards de personnes vivant dans des régions énergétiquement pauvres.
- 3 milliards de nouveaux habitants de notre planète qui vivront surtout dans des régions énergétiquement pauvres.



Energie primaire dans le monde



Source: IEA 2008

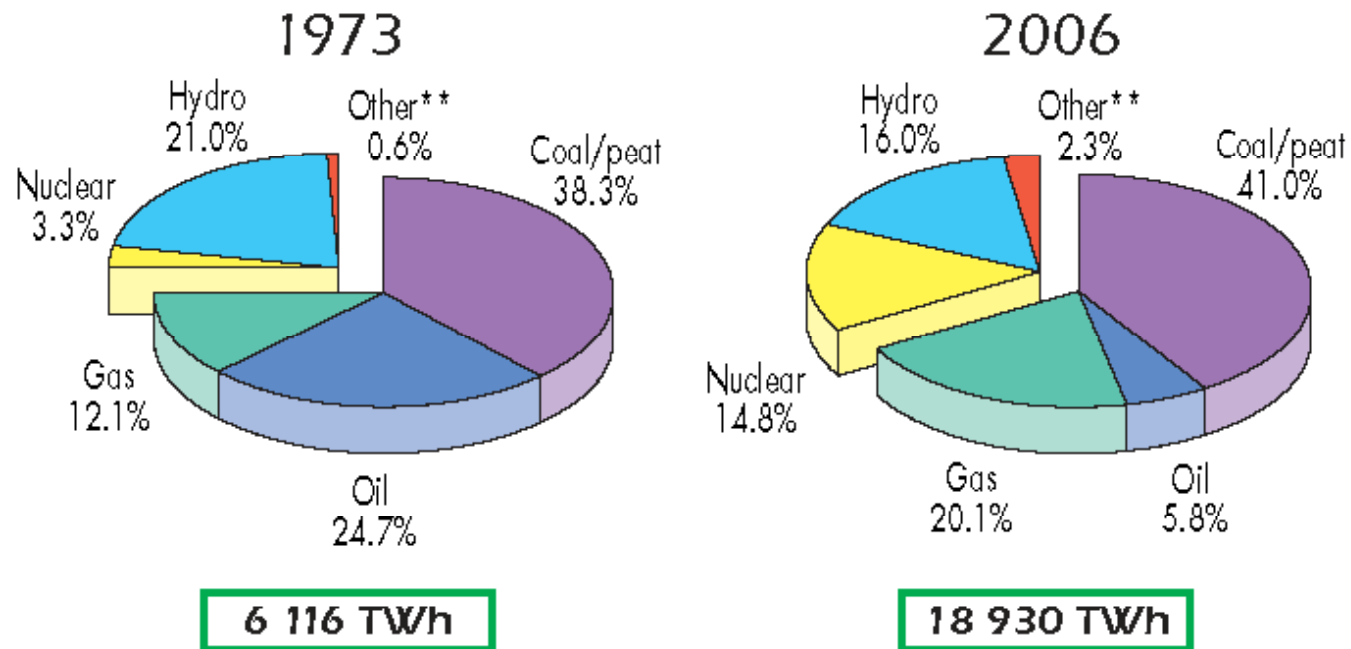
	1973	%	2006	%	croiss.
OCDE	3'747	61%	5'590	48%	149%
Hors OCDE	2'368	39%	6'151	52%	260%
	6'115		11'741		192%

*Exclude electricity trade

**Other includes geothermal, solar, wind, heat, etc.

La croissance énergétique a surtout lieu hors de l'OCDE

Production d'électricité dans le monde



*Excludes pumped storage.
**Other includes geothermal, solar, wind, combustible renewables & waste, and heat.

Source: IEA 2008

Croissance en énergie primaire: 192 %

Croissance en électricité: 310 %

Le monde s'électrifie rapidement

Consommation d'énergie primaire par habitant

	2006	Croissance 1982 - 2006
Monde (référence)	1	19.9 %
Amérique du Nord	4.34	4.9 %
Eurasie	1.99	-6.0 %
Europe	1.93	13.7 %
Moyen Orient	1.54	102.0 %
Amérique Latine	0.65	41.2 %
Asie & Océanie	0.63	117.0 %
Afrique	0.36	4.7 %

Source: IEA 2008



Production d'énergie

Il n'est pas réaliste, ni éthiquement acceptable, de demander aux régions en voie d'émergence de réduire leurs demandes d'énergie supplémentaire.



Le déficit énergétique de la Chine, l'Inde et l'Afrique

Alors que la moyenne mondiale de consommation d'énergie primaire par habitant en 2007 était de 21.2 MWh/hab, elle était de 10.8 MWh/hab en Chine, Inde et Afrique pris ensemble.

Pour remédier à cette situation, il faudrait construire 2 800 centrales nucléaires de 1 600 MW chacune.

En trois ans depuis 2004, la capacité de production électrique de la Chine a augmenté de 60% pour atteindre 715 000 MW ce qui représente une croissance moyenne sur trois ans de 90 000 MW/an.

- La centrale des Trois Gorges représente 18 200 MW soit 20% de la croissance de la capacité requise par an.
- La puissance total installée : France : 115 000 MW – UK : 85 000 MW
- Chavallon : 400 MW



Bifurcation des défis

Sur la base des chiffres cités plus haut, il convient de distinguer les défis selon :

Les pays industrialisés, où le défi est la consommation rationnelle - plus sobre - de l'énergie.

Préservation du développement économique et du niveau de vie pour les générations futures

Technologies chères pour pays riches

Les pays en voie d'émergence, où le défi est l'augmentation massive de la consommation, donc de la production, d'énergie en évitant un impact catastrophique sur l'environnement.

Faire face aux aspirations des habitants vers une meilleure qualité de vie

Technologies bon marché pour des pays pauvres



Les carburants fossiles

Charbon

- Les réserves de charbon aux USA, en Chine, en Inde, en Russie et en Afrique du Sud peuvent assurer leurs approvisionnements énergétiques pour plusieurs siècles.
- Nous saurons bientôt construire des centrales au charbon ayant de très bons rendements et ayant un impact sur l'environnement acceptable. Toutefois, ces technologies sont onéreuses à mettre en œuvre, tant au niveau investissement que fonctionnement.

Pétrole

- L'utilisation du pétrole pour des raisons hors transport et industries chimiques est en forte diminution.
- La production en Mer du Nord par les puits encore en exploitation diminue déjà. La production en Alaska a atteint un plateau. **L'impact de la catastrophe de Deepwater Horizon dans le golfe du Mexique sera énorme et durable aux Etats Unis**
- Sources non-conventionnelles : sables bitumeux, oil shale, etc. + off-shore ultra-profond

Gaz naturel

- L'impact du gaz de schistes, notamment au Etats-Unis (Marcellus et autres) sera considérable.
- En 2009, les Etats Unis étaient le plus gros producteur de gaz au monde.
- Les prix chutent sous une surabondance sur les marchés.



Les carburants fossiles - le charbon

Au niveau mondial, il paraît **hélas** inévitable que :

Le 21^{ème} siècle sera celui du charbon.

Les trois questions sont dès lors :

- Saurons-nous nous assurer que les meilleures technologies seront mises en œuvre dans le monde entier ?
- Avec quelle rapidité saurons-nous faire la transition vers d'autres sources ?
- Quelles autres sources d'énergie pourrions-nous déployer pendant la transition vers une source abondante et fiable ?

Le monde industriel devra probablement co-investir dans les technologies propres avec les pays émergents.



Green house gas emissions: CO₂

Switzerland

CO₂ emissions per capita: 5.95 tons

CO₂ emissions per GDP: 0.18 kg/US\$

Austria

CO₂ emissions per capita: 9.19 tons

CO₂ emissions per GDP: 0.37 kg/US\$

France

CO₂ emissions per capita: 6.22 tons

CO₂ emissions per GDP: 0.27 kg/US\$

Germany

CO₂ emissions per capita: 10.29 tons

CO₂ emissions per GDP: 0.43 kg/US\$

World

CO₂ emissions per capita: 4.18 tons

CO₂ emissions per GDP: 0.76 kg/US\$

Europe 25

CO₂ emissions per capita: 8.46 tons

CO₂ emissions per GDP: 0.44 kg/US\$

North America

CO₂ emissions per capita: 19.49 tons

CO₂ emissions per GDP: 0.55 kg/US\$

China

CO₂ emissions per capita: 3.65 tons

CO₂ emissions per GDP: 2.76kg/US\$



Production et consommation en Suisse

Utilisation d'énergie primaire en 2008 : 326.76 TWh

➤	Pétrole	46.2 %
➤	Hydraulique	11.4 %
➤	Nucléaire	24.1 %
➤	Gaz naturel	9.9 %
➤	Autre	8.4 %

Consommation finale d'énergie en 2008 : 250.03 TWh

➤	Carburants	33.1 %
➤	Combustibles pétroliers	22.0 %
➤	Electricité	23.5 %
➤	Gaz naturel	12.3 %
➤	Autre	9.1 %



Production d'électricité en Suisse

Production indigène d'électricité en 2008 :

66.7 milliards de kWh → +1.6 %

Nucléaire	39.0 %
Centrales à accumulation	31.2 %
Centrales au fil de l'eau	24.9 %
Thermiques et autres	4.9 %

Constatations

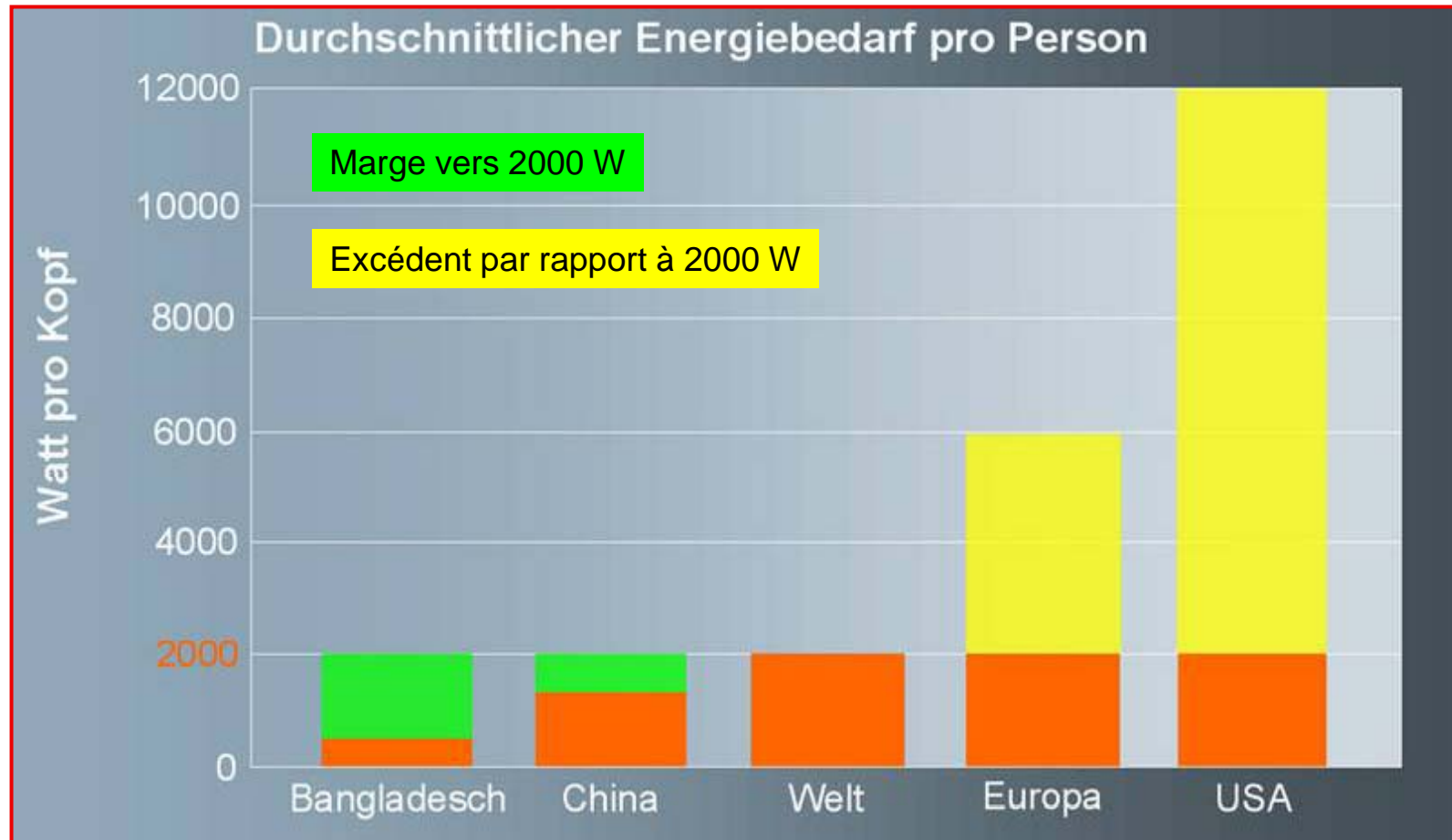
La Suisse est un "très bon élève" au niveau énergétique et climat :

- Sa production d'électricité, sur sol Suisse, est presque totalement hydraulique ou nucléaire.
- Elle importe pratiquement tous ses besoins en produits dont la fabrication est énergétiquement gourmande .

Quid du futur ?

- En Suisse, une réduction massive **et** rapide des émissions de CO₂ sera très coûteuse.
- Dès lors, la question de la production électrique du futur est posée.

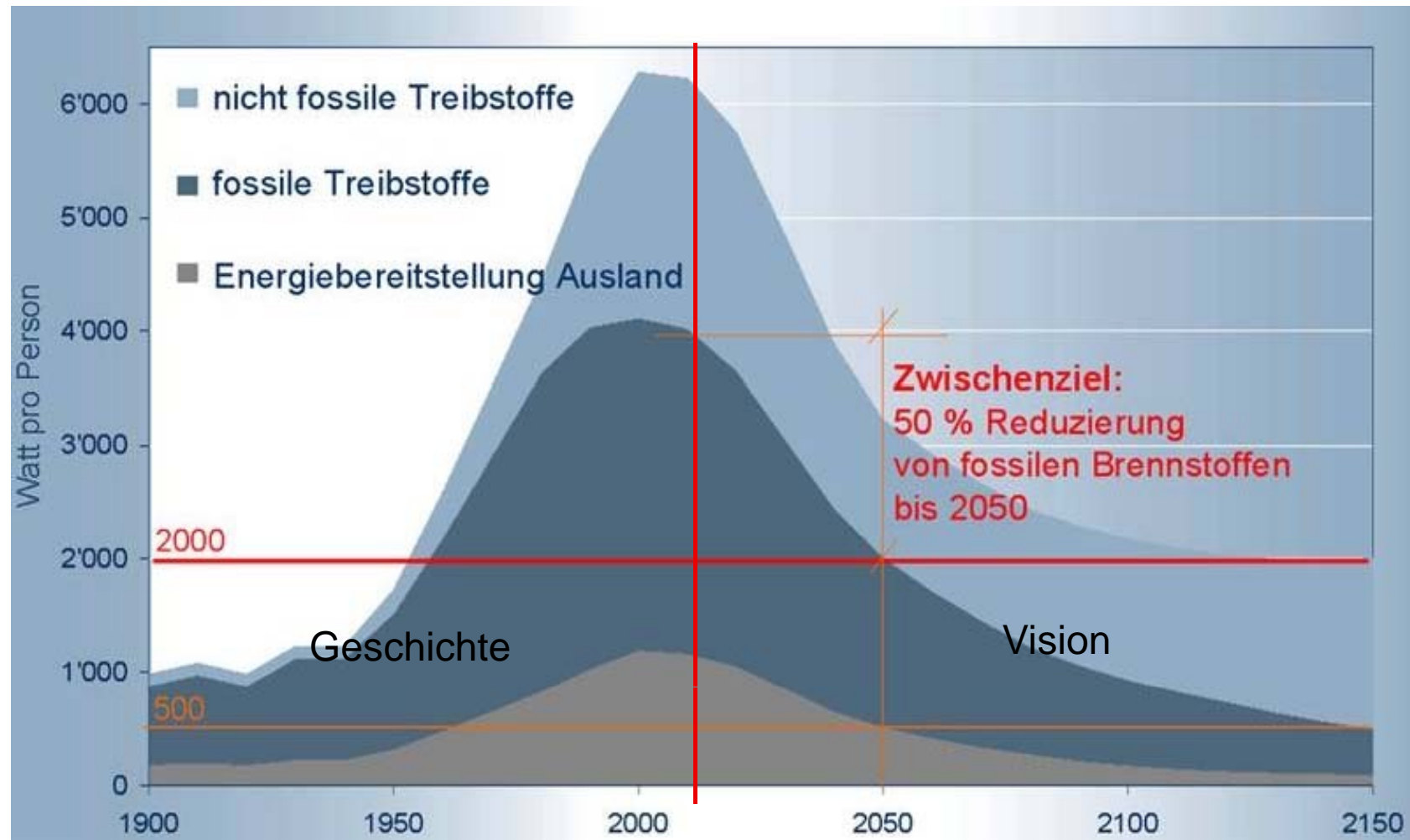
Puissance primaire mondiale : 2000 W par habitant en moyenne



Suisse : puissance primaire légèrement plus basse que celle de l'Europe

Vers une société énergétiquement sobre

Vision Suisse : la société 2000 Watt



Utilisation rationnelle de l'énergie – transports

Des progrès très rapides sont possibles grâce à des nouvelles technologies, tant dans le secteur public que privé.



Les technologies sont là – les décisions politiques manquent.

Les véhicules hybrides rechargeables vont très vite pénétrer le marché.

Utilisation rationnelle de l'énergie – bâtiments

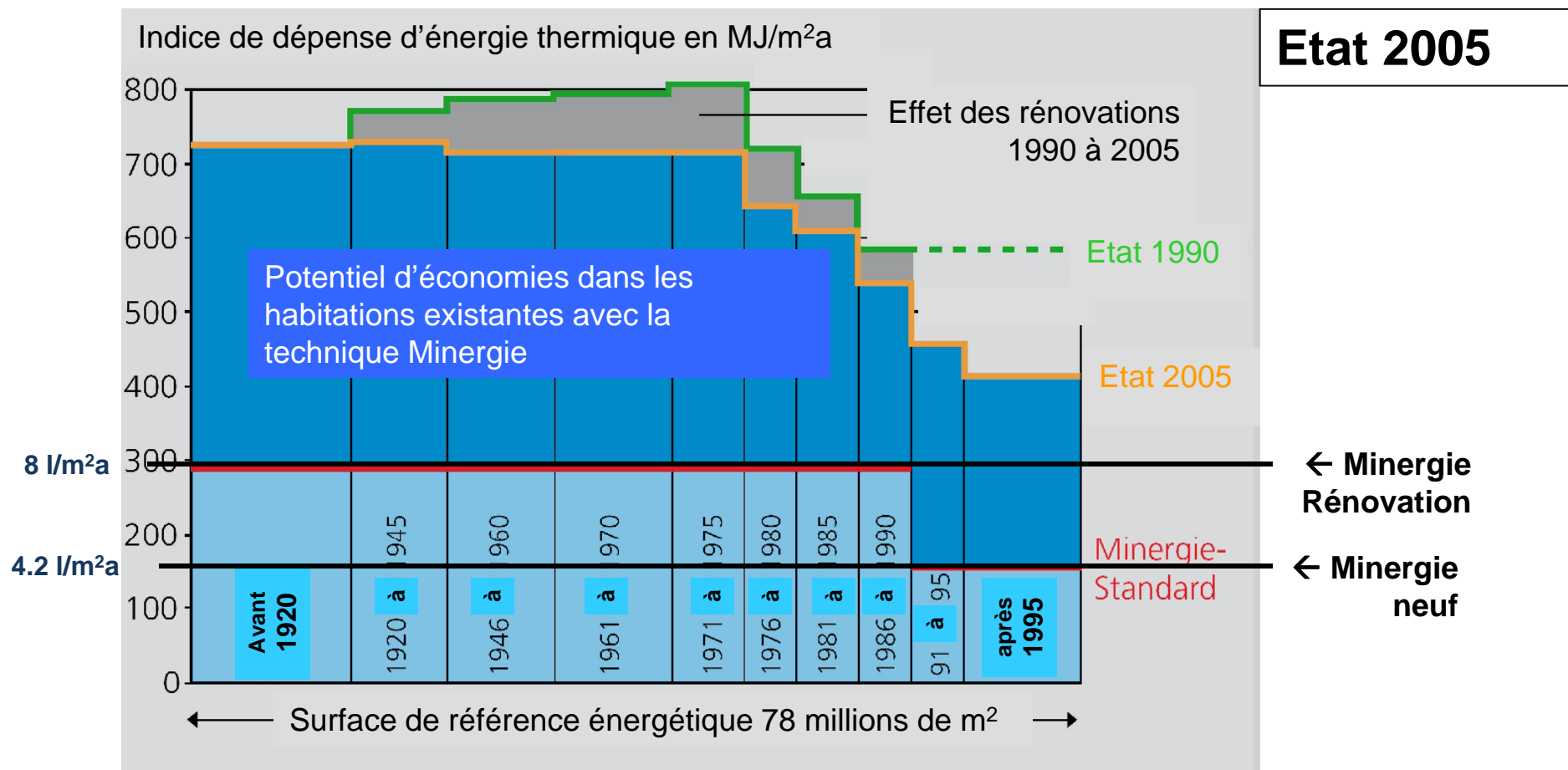
Nous savons déjà construire des maisons, des bâtiments
et même des quartiers à très faible consommation énergétique



Opportunités à court terme :

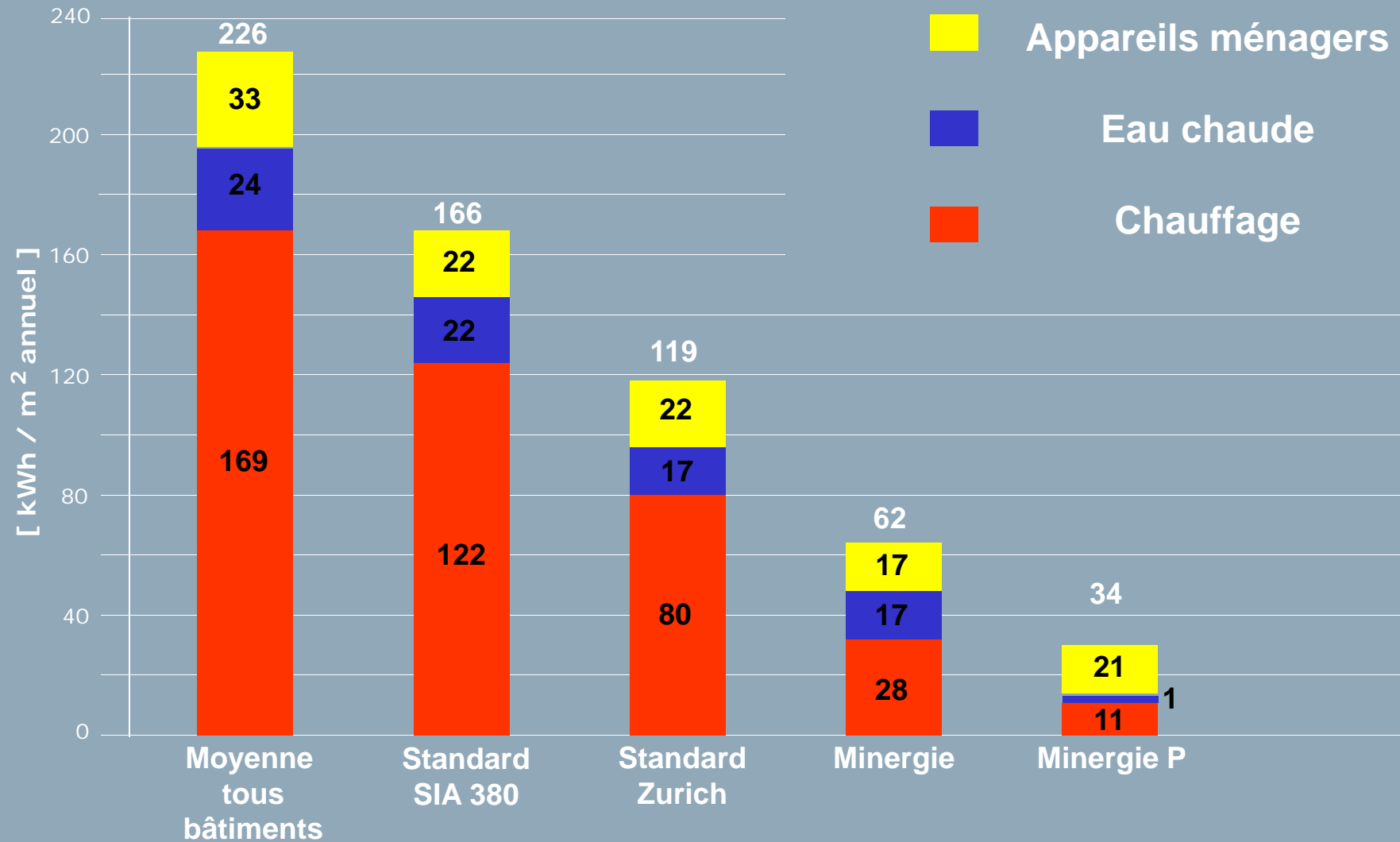
- Assainissements énergétiques
- Réseaux de chauffage à distance
- Les pompes à chaleur (électricité et gaz)

Consommation parc immobilier ZH



Source : Recensement Service cantonal de l'énergie ZH

Efficacité énergétique bâtiments: Facteur 10



Scénario I

POURSUITE DE
LA POLITIQUE ACTUELLE

Consommation finale d'énergie	+ 2 %
Consommation d'électricité	+ 29 %
Pénurie d'électricité	22,3 TWh
Rejets de CO ₂ ¹	+ 5 à - 12 %
Rejets de CO ₂ (carburants seuls)	- 4 %
Efficacité énergétique (consommation d'énergie par habitant)	- 3 %
Prix de l'essence pour le consommateur final (aux prix de 2003)	140 ct. par litre

¹ dépendent de la variante choisie pour combler le manque d'électricité

Source: Prognos SA

Scénario II

COLLABORATION RENFORCÉE

Consommation finale d'énergie	- 4 %
Consommation d'électricité	+ 23 %
Pénurie d'électricité	18,6 TWh
Rejets de CO ₂ ¹	- 9 à - 21 %
Rejets de CO ₂ (carburants seuls)	- 15 %
Efficacité énergétique (consommation d'énergie par habitant)	- 9 %
Prix de l'essence pour le consommateur final (aux prix de 2003)	140 ct. par litre

¹ dépendent de la variante choisie pour combler le manque d'électricité

Source: Prognos SA

Scénario OFEN pour 2035

Le Scénario III,
qui est déjà très
ambitieux, semble
être réalisable.

- Energie totale : -14%
- Electricité : +13%
- CO₂ : - 26% à 36%

Scénario III

NOUVELLES PRIORITÉS

Consommation finale d'énergie	- 14 %
Consommation d'électricité	+ 13 %
Pénurie d'électricité	13,5 TWh
Rejets de CO ₂ ¹	- 26 à - 36 %
Rejets de CO ₂ (carburants seuls)	- 30 %
Efficacité énergétique (consommation d'énergie par habitant)	- 18 %
Prix de l'essence pour le consommateur final (aux prix de 2003)	281 ct. par litre

¹ dépendent de la variante choisie pour combler le manque d'électricité

Source: Prognos SA

Scénario IV

CAP SUR LA SOCIÉTÉ
À 2000 WATTS

Consommation finale d'énergie	- 27 %
Consommation d'électricité	- 2 %
Pénurie d'électricité	5 TWh
Rejets de CO ₂ ¹	- 41 à - 48 %
Rejets de CO ₂ (carburants seuls)	- 42 %
Efficacité énergétique (consommation d'énergie par habitant)	- 31 %
Prix de l'essence pour le consommateur final (aux prix de 2003)	312 ct. par litre

¹ dépendent de la variante choisie pour combler le manque d'électricité

Source: Prognos SA



Nucléaire suisse : les perspectives

Constat :

➤ Beznau I et II ⁽¹⁾	1969 – 1971	730 MW	6.0 TWh/an
➤ Mühleberg	1972	355 MW	2.9 TWh/an
➤ Gösgen ⁽¹⁾	1979	970 MW	8.1 TWh/an
➤ Leibstadt	1984	1'165 MW	9.4 TWh/an

⁽¹⁾ Co-production de chaleur à distance

Facteur de capacité pour les cinq centrales en 2006 : 93.7%

-> meilleure performance mondiale.

Beznau I & II et Mühleberg : 1'085 MW – retirées vers 2020-2025.

Gösgen et Leibstadt : 2'135 MW – retirées entre 2030 et 2040

Retrait futur des centrales nucléaires existantes

Suisse, horizon 2020

Arrêt Beznau I & II - 6'000 GWh/an

Arrêt Mühleberg - 2'900 GWh/an

- **8'900 GWh/an**

Suisse, horizon 2020 - 2040

Arrêt Gösgen - 8'100 GWh/an

Arrêt Leibstadt - 9'400 GWh/an

- **17'500 GWh/an**

EDF, horizon 2015 - 2030

Expiration contrats CH - 12'400 GWh/an

Total horizon 2040 pour remplacer le nucléaire : + 38'800 GWh/an

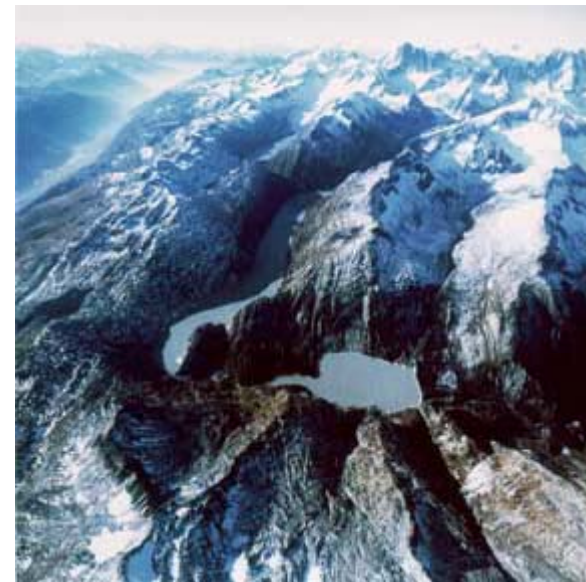
**Total de la consommation Suisse selon Scénario III en 2035:
59'180 GWh (plus 13% par rapport à 2000 – 57'500 en 2009!!)**

Quelques centrales au gaz semblent inévitables à court terme



Energie hydraulique : l'un de nos plus grands atouts

- La poursuite de grands projets hydrauliques dans les pays en émergence (Chine, Amérique Latine, Afrique du Sud-Ouest, etc.) est inévitable et souhaitable.
- Il nous appartient de mieux comprendre les interactions climatiques entre ces énormes installations.
- En jouant la carte pompage-turbinage, la Suisse peut devenir le poumon de l'Europe énergétique et monnayer ces services au prix fort.
- La reconfiguration de certains barrages existants devrait être encouragée et non freinée.
- La Suisse possède un fort potentiel dans les domaines de la micro- et mini-hydraulique.



Sources alternatives - éoliennes

Pénétration du marché très rapide
(+8'350 MW aux USA en 2008 ...).

120'800 MW installés au niveau
mondial en 2008 :

25'200 MW aux Etats-Unis
23'900 MW en Allemagne
16'700 MW en Espagne
19 MW en Suisse



Source : GWEC 2009, SFOE 2009

- De grands fabricants tels que General Electric et Siemens sont très présents – une société indienne tient le 4^{ème} rang.
- Facteur d'utilisation moyenne par rapport à la puissance installée : 27% (Etats-Unis), 14.5% (Suisse)

Energie éolienne en Suisse

L'exemple du parc éolien de Mont-Crosin BKW - FMB

8 éoliennes existantes : (0.60 MW – 1.75 MW)

Puissance installée : 7.660 MW

8 éoliennes en construction : 2 MW

Puissance installée : 16 MW

Puissance installée combinée pour les 16 éoliennes : 23.66 MW

Prévision d'énergie produite annuellement : 40 GWh/an

**II FAUT faciliter la construction
de telles réalisations exemplaires.**

Remplacement Mühleberg :

- Puissance : 175 éoliennes de 2 MW
- Energie : 850 éoliennes de 2 MW



Sources alternatives - photovoltaïque

- Capacité mondiale (2008): 13'500 MW, production mondiale de 8'200 GWh
 - Allemagne : 5'340 MW
 - Espagne : 3'350 MW
 - Etats-Unis : 1'170 MW
 - Suisse : 35 MW

Source : IEA Photovoltaic Power Systems Programme 2008, IEA Statistics 2009

- Facteur d'utilisation moyenne par rapport à la puissance installée : 17% (Etats-Unis), 9.2% (Suisse)



Photovoltaïque en Suisse

L'exemple de la centrale photovoltaïque du Stade de Suisse BKW - FMB

Surface installée : 12'000 m²

Puissance installée : 1'300 kW

Energie annuelle produite (moyenne) : 1'200 MWh

**II FAUT faciliter la construction
de telles réalisations exemplaires.**

Remplacement Mühleberg :

- Puissance : 270 Stades de Suisse
- Energie : 2'400 Stades de Suisse



Centrale Photovoltaïque EPFL – ESOPP

Construction: 2010 - 2011



**Plus grande
centrale
photovoltaïque de
Suisse**

**Partenaire:
Romande Energie**

**Puissance de crête:
2 MWc**

**Approvisionnement
d'environ 5% de la
consommation
annuelle d'énergie
électrique pour
l'EPFL**

Sources alternatives

Photovoltaïque et Eoliennes

- Le potentiel suisse, quoique faible, doit être développé aussi rapidement que possible.
- Les programmes de soutien financiers et d'incitations fiscales du type "stop and go" sont totalement contreproductifs.
- Une forte pénétration du photovoltaïque et l'éolien n'est concevable que par le biais d'un fort développement du stockage d'énergie, par voie hydraulique, chimique ou électrique.

Le solaire thermique, notamment pour la production d'eau chaude sanitaire, a un potentiel considérable.



Sources alternatives

Géothermie, déchets, rejets énergétiques

➤ **Géothermie**

- Toutes les formes d'exploitation géothermique doivent être explorées (à tous les niveaux de profondeur) et favorisées
- Possibilité de générer de la chaleur et/ou de l'électricité

➤ **Déchets**

- Potentiel par l'incinération pour produire chaleur et électricité, mais également au niveau des STEP (biogaz et PAC)

➤ **Rejets énergétiques (waste energy)**

- Grand potentiel dans certains secteurs industriels (ciment, papier, agro-alimentaire, pétro-chimie) -> production de chaleur/froid et/ou d'électricité à utiliser sur place ou en-dehors.
- Possibilité d'augmenter l'efficacité des CCF, notamment

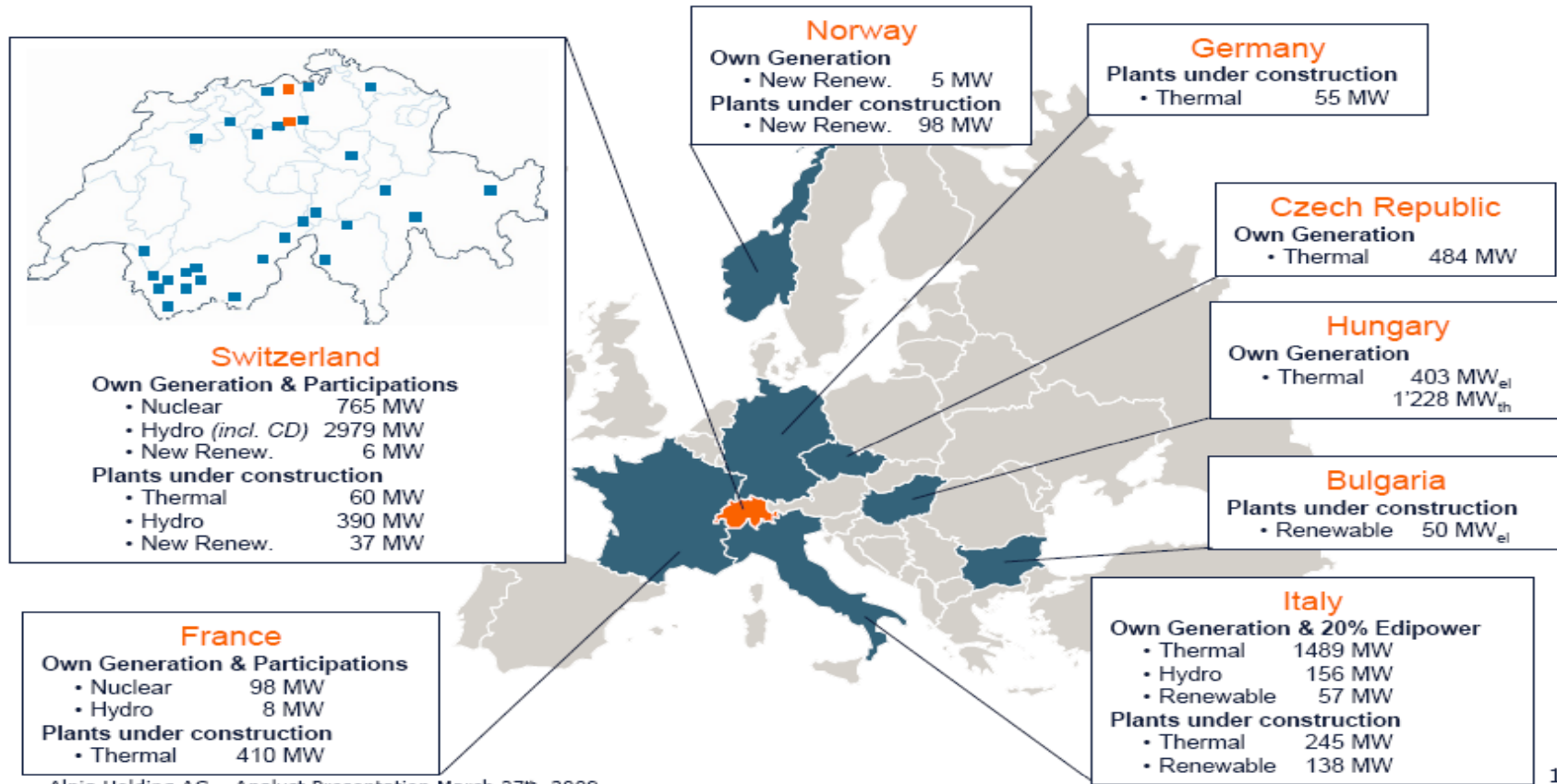


Capacité de production d'ALPIQ

A significant, portfolio of generation assets
(totally ≈6450 MW)...

(not including LTC, VPP)

ALPIQ



Alpiq Holding AG - Analyst Presentation March 27th, 2009

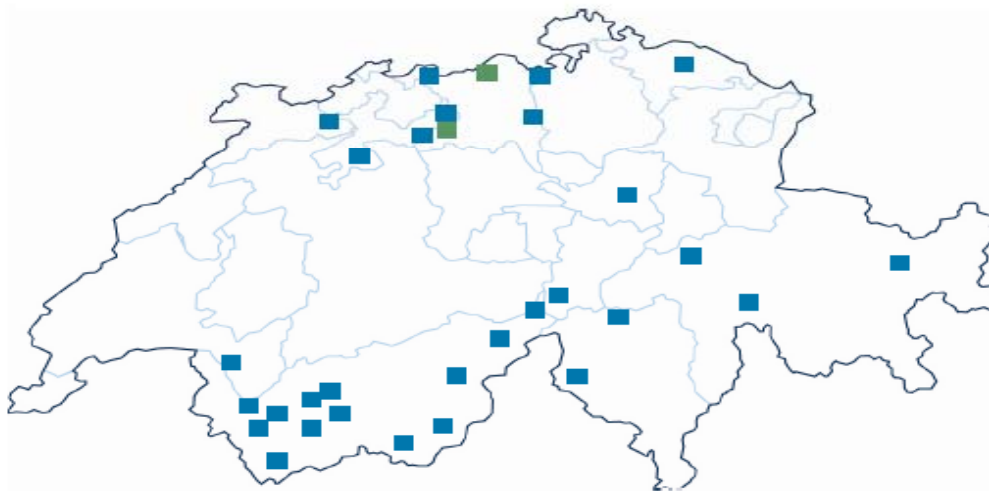
19



Capacité de production d'ALPIQ en Suisse

Production in Switzerland

ALPIQ



- Hydro Power Plants
5,650 GWh
- Nuclear Power Plants
5,626 GWh



Actionnariat ALPIQ

Actionnaire	Part en %
EOS Holding	31.38
ATEL	31.38
Elektra Birseck Münchenstein (EBM)	13.63
Elektra Baselland Liestal (EBL)	7.12
Canton of Solothurn (KtSO)	5.60
Aziende Industriali di Lugano (AIL)	2.12
IBAAarau (IBA)	2.00
Wasserwerke Zug (WWZ)	0.91
EDF	25.00
A2A (AEM Milano)	5.16
Free float	7.08
EnBW (EDF)	2.30

Source: www.alpiq.com (Aug 2009)



Actionnariat EOS Holding

Actionnaire	Part en %
Romande Energie SA	28.72
Services Industriels de Genève	23.02
Groupe E SA	22.33
Ville de Lausanne (SIL)	20.06
FMV SA	5.87

Ce qui résulte dans un accès théorique à la capacité de production d'ALPIQ de:

- Romande Energie SA: 9.0 %
- Ville de Lausanne (SIL): 6.3%

Source: Rapport annuel 2008 EOS Holding

Projets de production électrique dans VD

En planification avancée

- Barrage de Lavey (modification 400 GWh/an existant) 70 GWh/an
 - Barrage de Massongex (nouveau) 90 GWh/an
 - Centrale de Veytaux (modification) puissance de pointe
 - Enerbois (nouveau) 28 GWh/an
 - AGEPP (géothermie – nouveau) 10 GWh/an
- 198 GWh/an**

Planification plus lointaine

- Divers projets mini-micro hydraulique 25 GWh/an
- Potentiel éolien Jura (partagé avec autres cantons) 300 GWh/an
- Chavallon (CCGT) 1'130 GWh/an
- **Brunsbüttel** 280 GWh/an



Politique énergétique Conseil Fédéral - 1

21 février 2007 – Quatre piliers

Efficacité énergétique

Energies renouvelables

Hydraulique: source principale d'énergie renouvelable

Diversification des sources renouvelables

Centrales électriques

Centrales à gaz cycle combiné – stratégie de transition -
compensation à 100% du CO₂

Continuer de miser sur les centrales nucléaires - nécessité de
remplacer les centrales existantes ou construire des nouvelles

Politique énergétique étrangère

Collaboration et commerce



Politique énergétique Conseil Fédéral - 2

La politique énergétique promulguée est prudente pour autant que les **quatre** piliers soient mis en œuvre d'une manière volontariste.

La Suisse peut et doit servir d'exemple au niveau de la sobriété énergétique à tous les niveaux.

Il est important que la Suisse maintienne l'autonomie de son approvisionnement électrique.

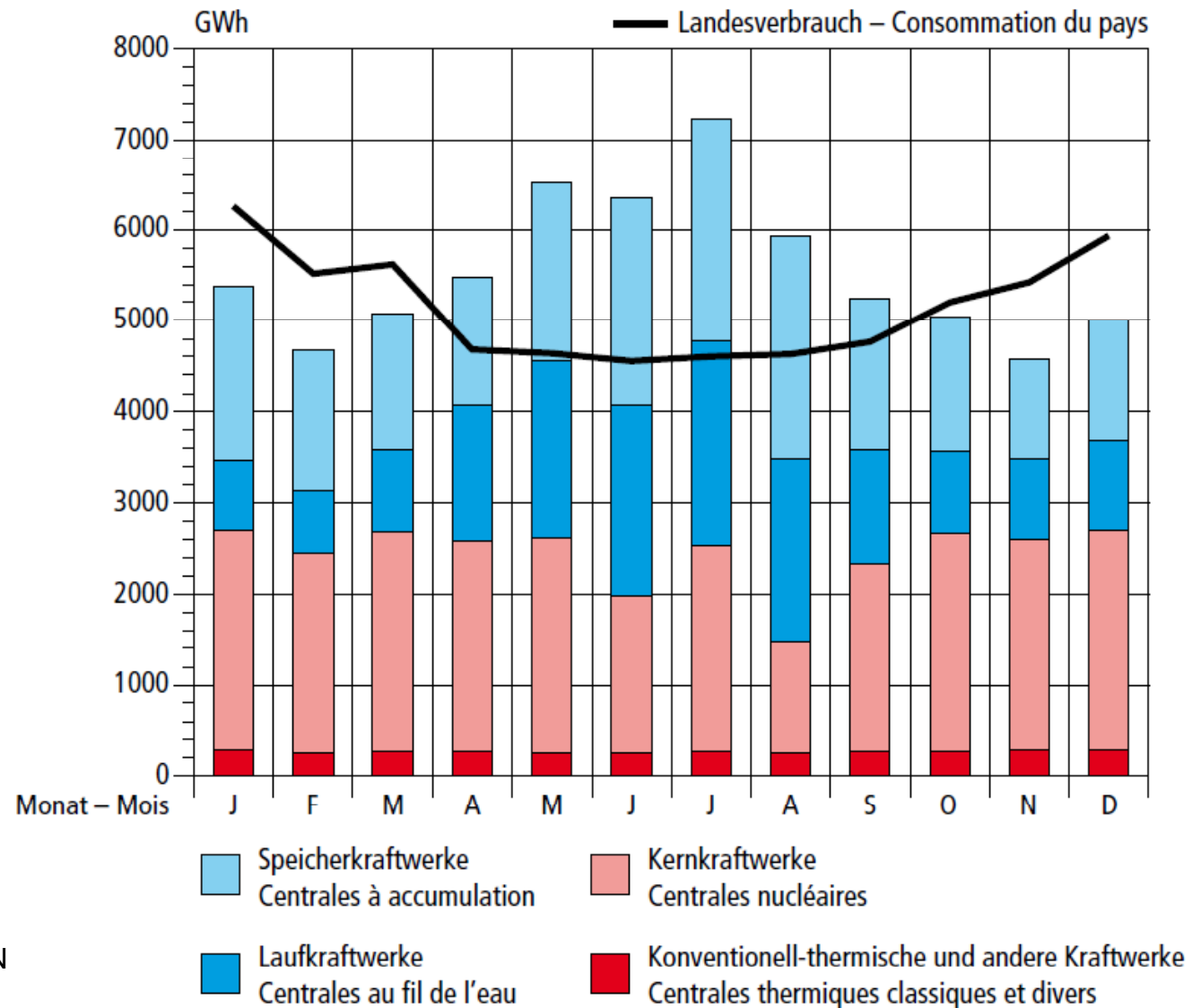
Il n'est pas certain que les pays voisins continuent de vouloir accueillir des nouvelles centrales au charbon ou au gaz dont le but principal serait l'exportation d'énergie électrique vers la Suisse.

Une augmentation du commerce d'énergie électrique implique un renforcement des infrastructures de transport ce qui demeure problématique au niveau de l'opinion publique.

Les décisions politiques doivent s'inscrire dans la durée.



La Suisse – le poumon électrique de l'Europe



Source : BFE - OFEN



Suisse - la flexibilité dont nos voisins ont besoin

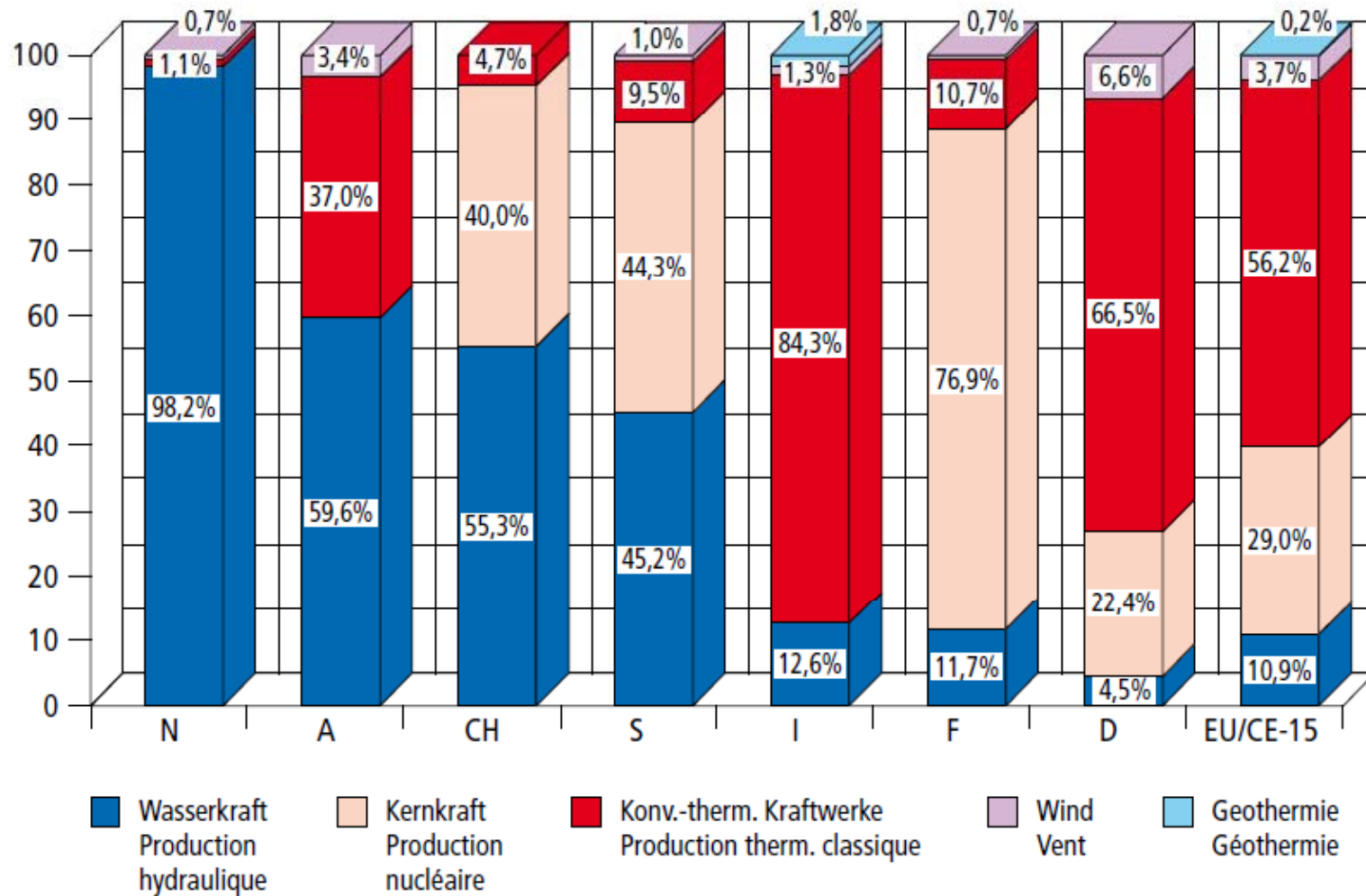


Fig. 5
Structure
de production
de divers pays
2007

Le futur énergétique sera électrique

Les énergies renouvelables passent pratiquement toutes par le vecteur électrique :

- Hydraulique
- Eolien
- Photovoltaïque
- Géothermique
- Océans
- Fusion

Une utilisation plus sobre de l'énergie entrainera une plus forte pénétration de l'électricité :

- Transports publics
- Voitures électriques et hybrides rechargeables
- Pompes à chaleur dans les bâtiments et dans l'industrie
- Vitesse variable dans l'industrie



Observations finales

- Nous allons et devons aller vers une société de plus en plus électrique.
- Le contrôle du coût du prix de l'électricité, à court et à long terme, sera déterminante quant à la compétitivité économique de toute région et de toute nation.
- Toute région, toute nation devra tendre vers une autosuffisance d'approvisionnement d'énergie électrique **annuelle**. Une externalisation des impacts environnementaux liés à la production électrique ne sera pas viable à long terme.
- Il appartient aux autorités publiques et au secteur privé de faire en sorte que des initiatives d'encouragement à la **sobriété énergétique** soit mises en place **conjointement** avec des investissements dans des **capacités de production** (hydraulique, solaire, éolien, biomasse, géothermique, grandes centrales – gaz et/ou nucléaire) **et** de **stockage d'énergie**.



Plusieurs technologies requises pour avoir un impact important à court terme sont disponibles.

Commençons à les utiliser

Il faut nous mettre d'accord quant à un programme à court, moyen et long terme dans la recherche.

Commençons à investir massivement dans la recherche et le développement.

Si pas maintenant – quand ?

Si pas nous – qui ?

Si pas ici – où ?

We need an all-of-the above approach!

Senator John McCain

US Presidential Campaign, 2008

Yes we can!

Senator Barack Obama

US Presidential Campaign, 2008



La bifurcation des défis énergétiques entre le monde industrialisé et celui en émergence – des opportunités économiques spécifiques

Hans Björn (Teddy) Püttgen

Professeur, Chaire de Gestion des Systèmes Energétiques

Directeur, Energy Center

Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

Georgia Power Professor Emeritus, Georgia Institute of Technology

Fellow IEEE

HES SO Valais

Sion 27 août 2010

