

Manager 21

Vers l'indépendance des flux d'énergie

Michel Bonvin
michel.bonvin@hevs.ch

4 octobre 2012

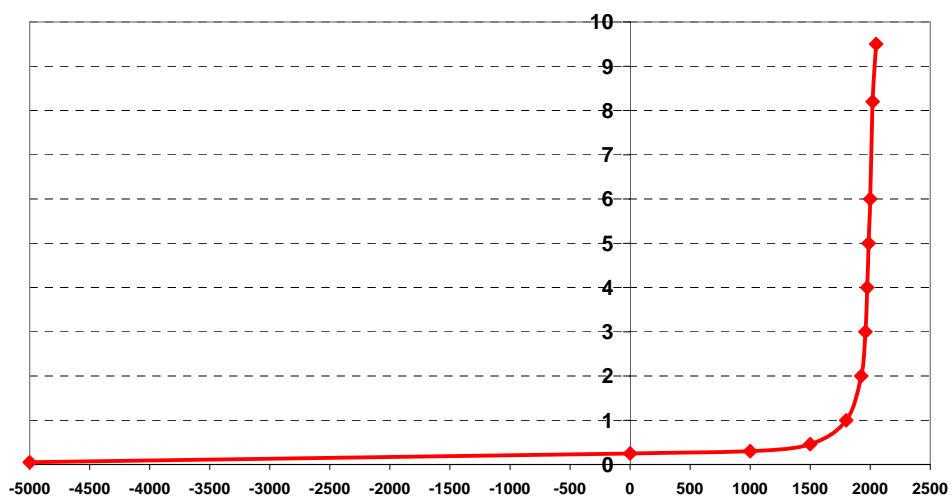
Sources, Références

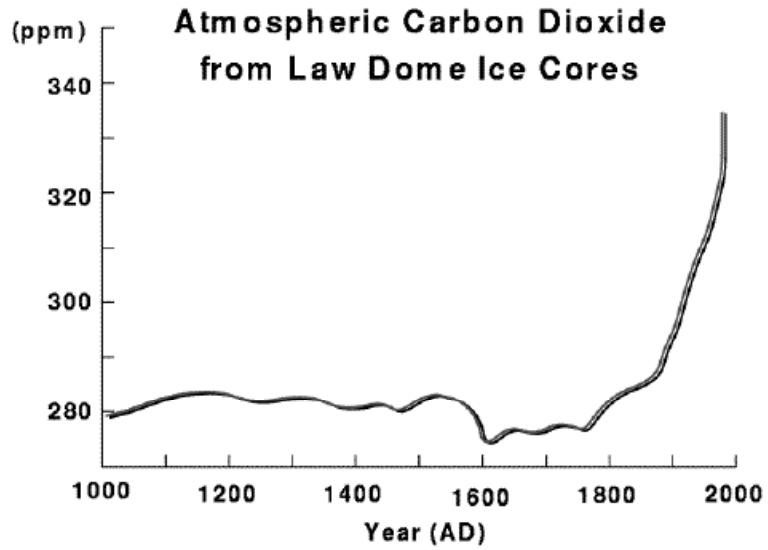
- Office fédéral de l'énergie (OFEN)
- Office fédéral de la statistique (OFS)
- Agence internationale de l'énergie (AIE)
- www.shell.de/pkwszenarien
- L. Guzzella, Technische Optionen für die individuelle Mobilität der Zukunft, Powertage, Juin 2010, Zürich
- P. Gross et B. Peterer, Ecologie industrielle, ECHO, février 2010, Martigny

Contenu

1. Introduction
2. Les deux leviers d'action
3. Les bâtiments
4. Les transports
5. L'industrie
6. Assurer la production
7. Assurer l'adéquation entre production et consommation

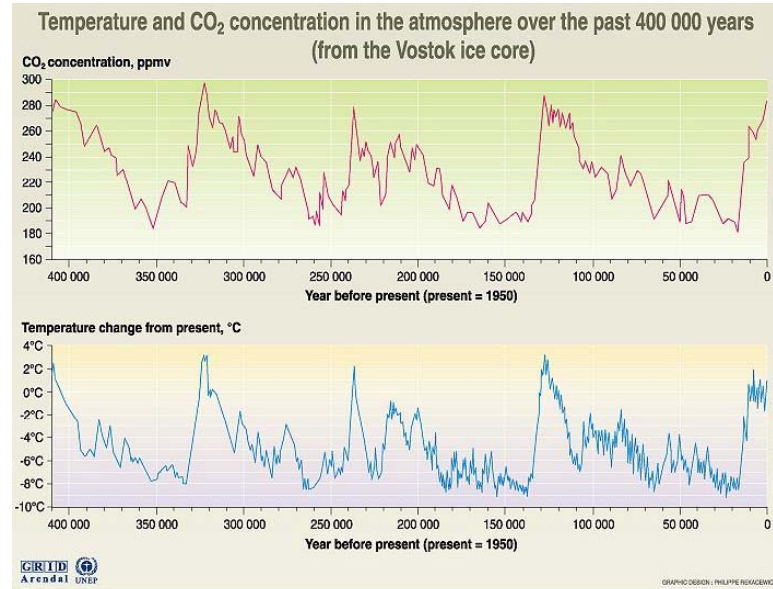
Evolution de la population mondiale
[milliards de personnes]





EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

5



GRID Arendal UNEP

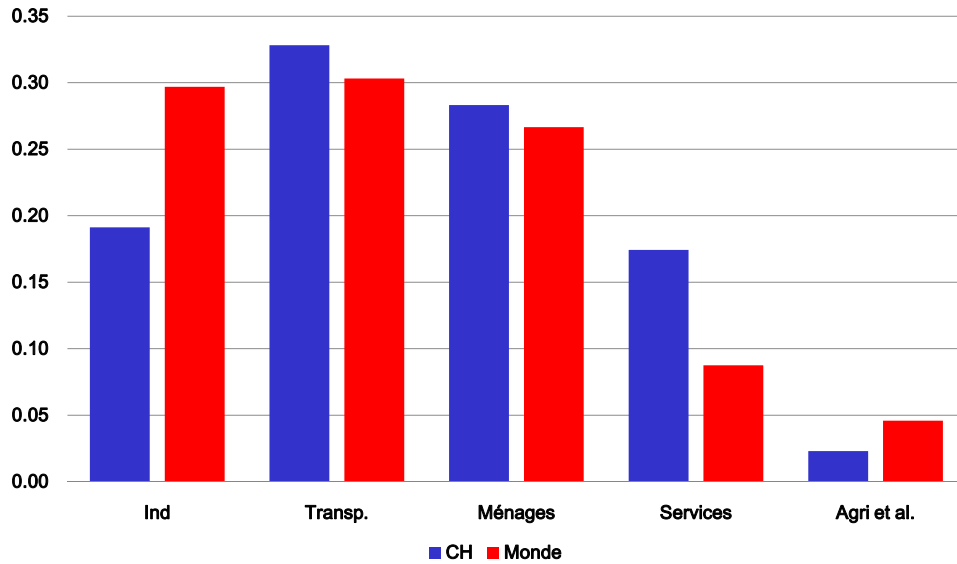
GRAPHIC DESIGN : PHILIPPE REISCHWIG

Source: J.R. Petit, J. Jouzel, et al. Climate and atmospheric history of the past 420 000 years from the Vostok ice core in Antarctica, Nature 399 (3/June), pp 429-436, 1999.

EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

6

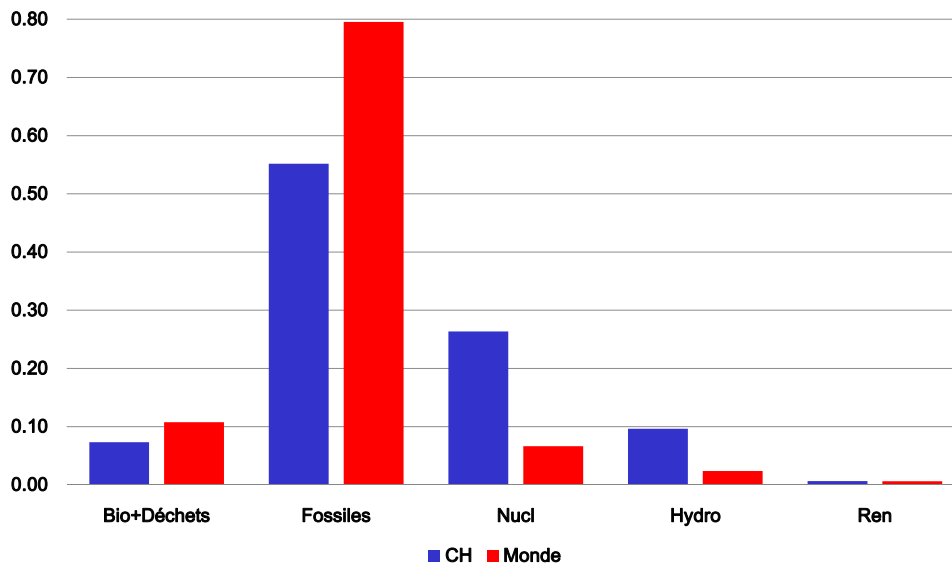
Energies finales pour quels usages (2006)



EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

7

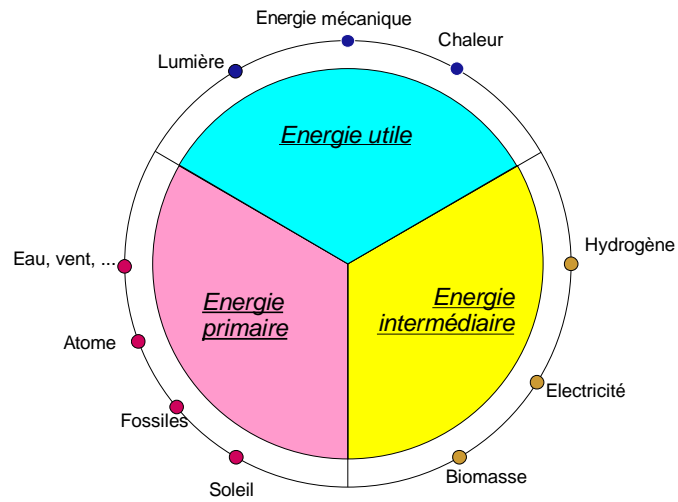
Energies primaires : parts relatives (2006)



EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

8

Transports Industrie Services Ménages



EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

9

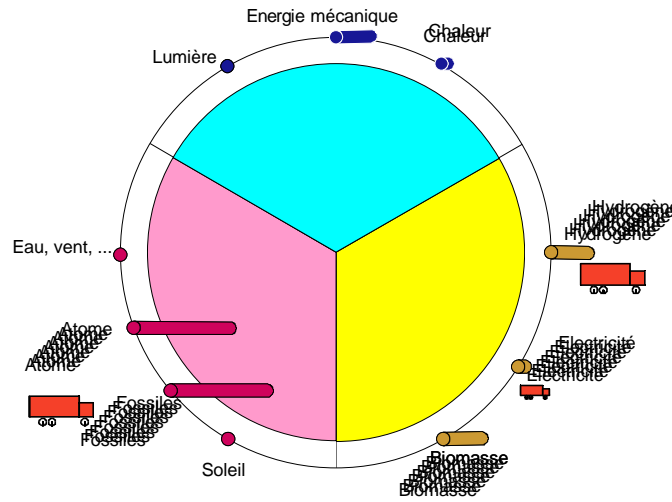
Les caractéristiques des différentes formes d'énergie

- Stockable
- Transportable
- Capacité d'être embarquée (transport)

EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

10

Transports Industrie Services Ménages



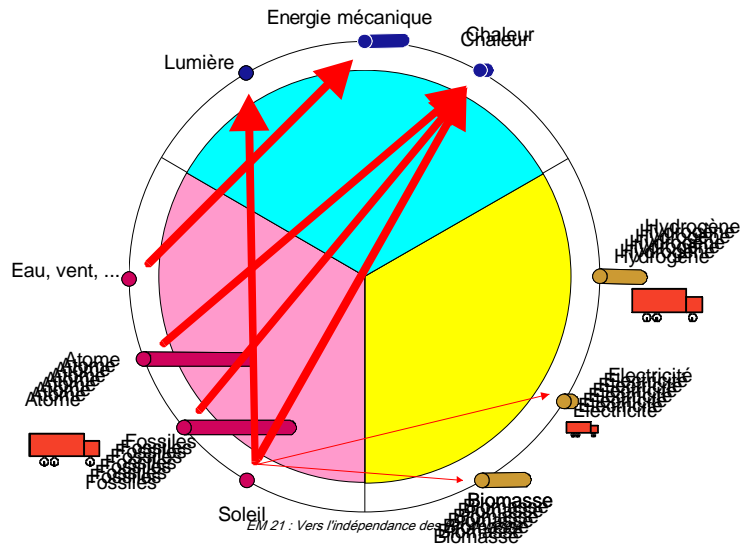
EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

Les rendements de conversion

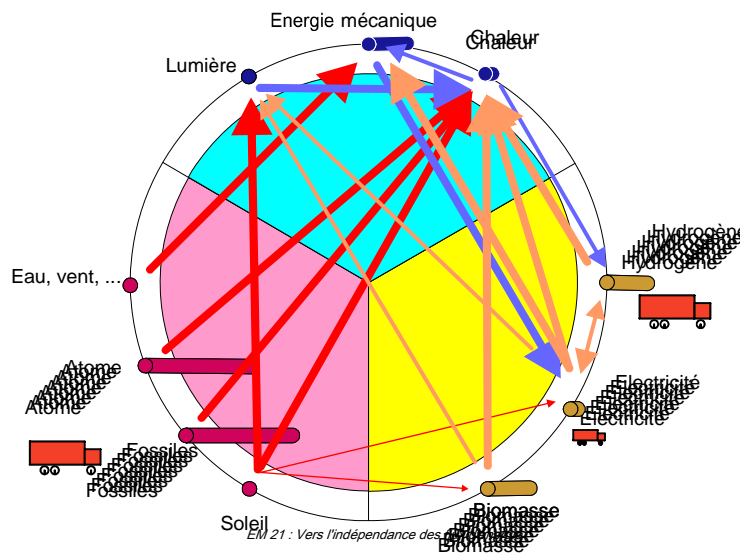
- **Très bons** (pertes plus faibles que 20 %)
- **Moyens** (pertes de l'ordre de 50 %)
- **Très faibles** (pertes supérieures à 80 %)

EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

Transports Industrie Services Ménages



Transports Industrie Services Ménages



Demain

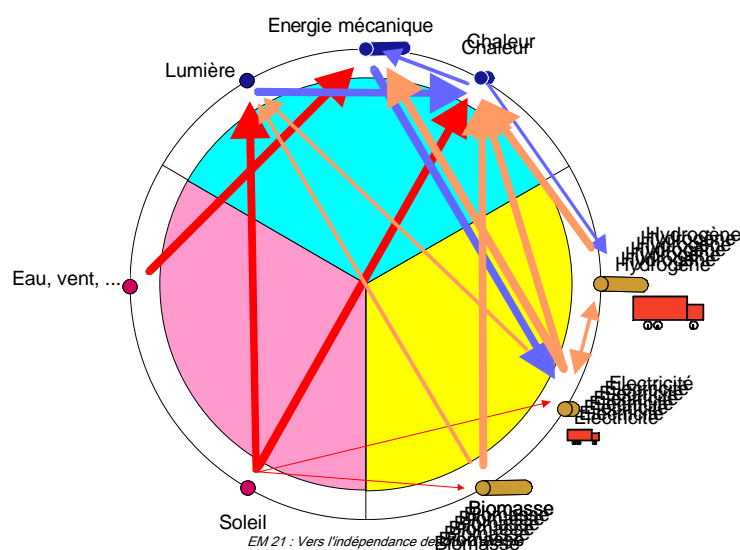
Si

l'atome et les fossiles se **raréfient**, donc **renchérissent**,

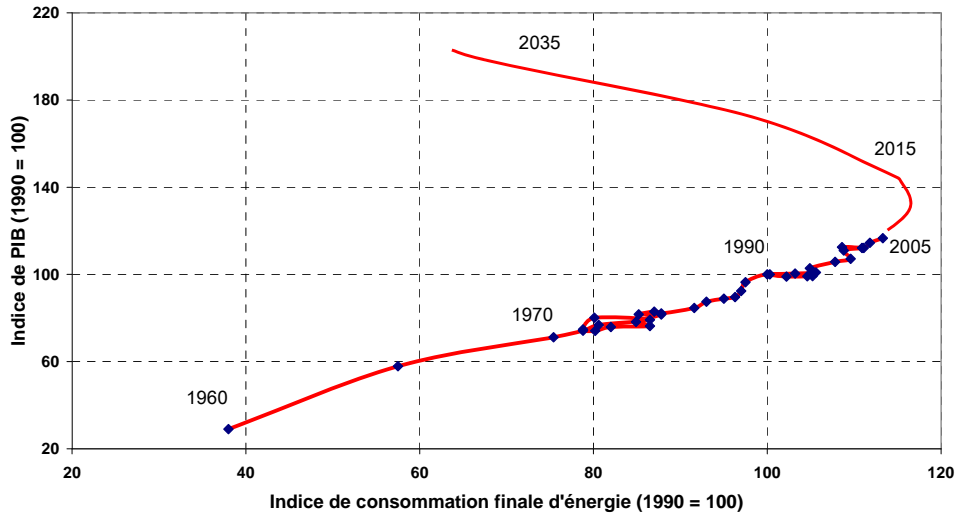
puis viennent à **disparaître**,

il va y avoir **PROBLEME!**

Transports Industrie Services Ménages



PIB et consommation finale d'énergie (Suisse, 1960-2005)



Les deux leviers d'actions

1. Diminuer les besoins (énergie utile) *Comportement*
2. Diminuer les pertes de conversion *Technologie*
 - Conversion entre énergie finale et énergie utile
 - Conversion entre énergie primaire et énergie finale

Comportement : exemples

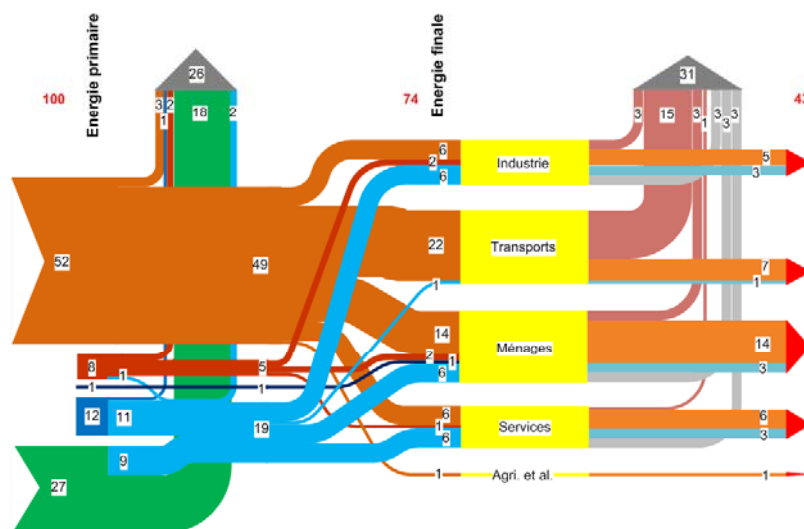
- **Société**
 - Organisation de la « décroissance »
 - Maîtrise de la population
- **Transports :**
 - Consommer d'avantage des produits locaux
 - Diminuer les vols intercontinentaux
 - Utiliser d'avantage les transports en commun
 - Rouler moins avec son véhicule
 - Rouler avec un véhicule plus petit
 - Promouvoir une forme d'habitat « groupé » plutôt qu' « individuel »
- **Domestique :**
 - Abandonner le confort de télécommandes et autres gadgets à « Stand by »
 - Réduire le nombres d'appareils au strict nécessaire (audio-vidéo, congélateur, ...)
- **Loisirs :**
 - Vacances « au pays »
 - Activités « douces » (Randonnées plutôt que tour à moto!)

EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

19

Suisse 2009, selon AIE

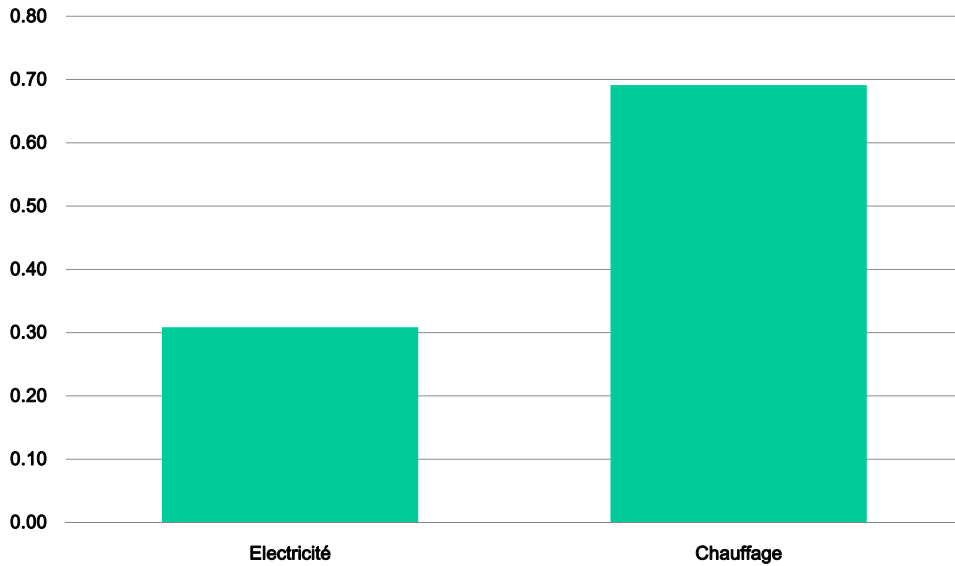
Fossiles
 Biomasse, déchets, géothermie
 Nouvelles ER
 Hydraulique
 Nucléaire



EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

20

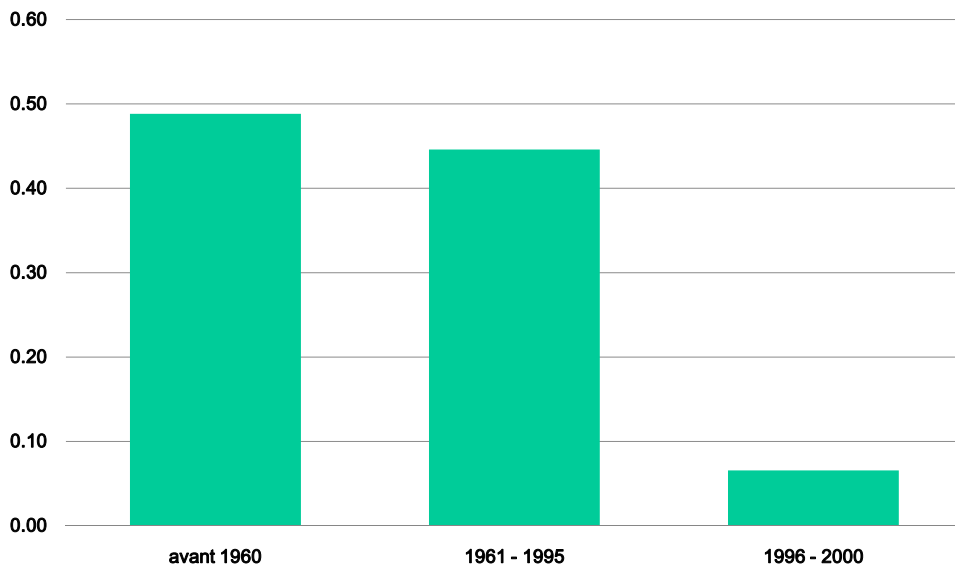
Ménages et Services



EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

21

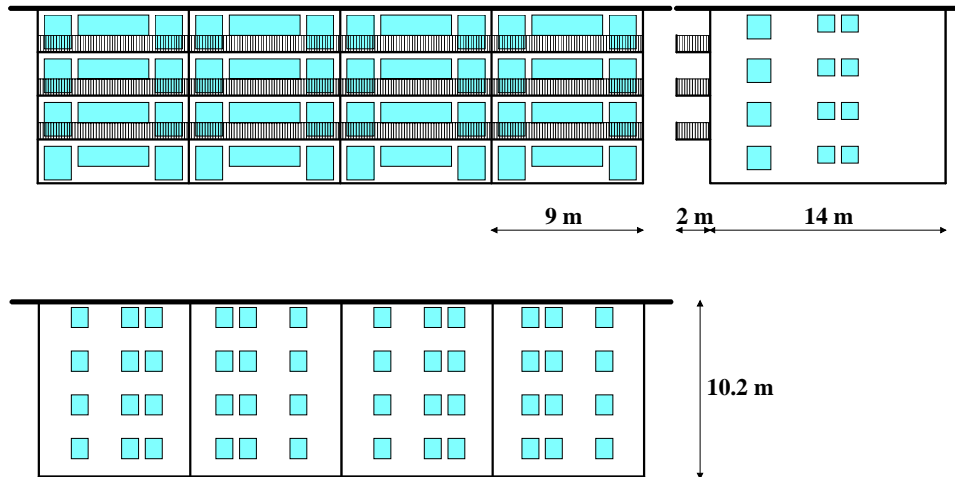
Bâtiments d'hab. - Epoque de construction



EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

22

Un exemple : immeuble d'appartements



EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

23

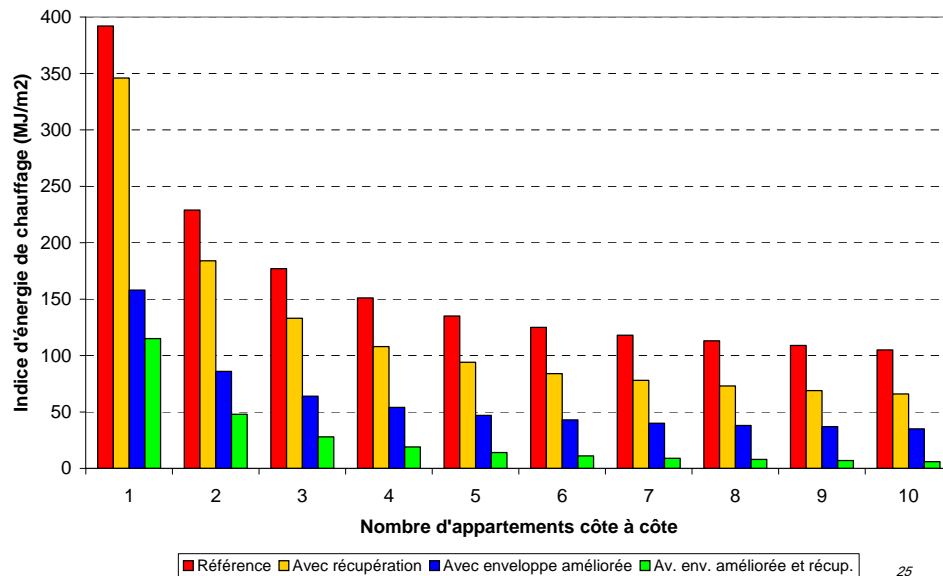
Les différentes configurations

1. **Référence** : construction lourde (standard 1975)
 - murs ext. et toit : 8 cm d'isolation thermique ($U = 0.4 \text{ W/m}^2\text{K}$)
 - sol sur cave : 4 cm d'isolation thermique ($U = 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$)
 - fenêtres : vitrages : $2.9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, cadre : $1.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
2. Avec **récupération de chaleur** : rendement de récupération : 70%
3. Avec **enveloppe améliorée** (standard 2009) :
 - murs ext. et toit : 16 cm d'isolation thermique ($U = 0.2 \text{ W/m}^2\text{K}$)
 - sol sur cave : 10 cm d'isolation thermique ($U = 0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$)
 - fenêtres : vitrages : $0.9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, cadre : $1.4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
4. Avec **enveloppe améliorée et récupération de chaleur** (2 et 3)

EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

24

Influence de la grandeur de l'immeuble

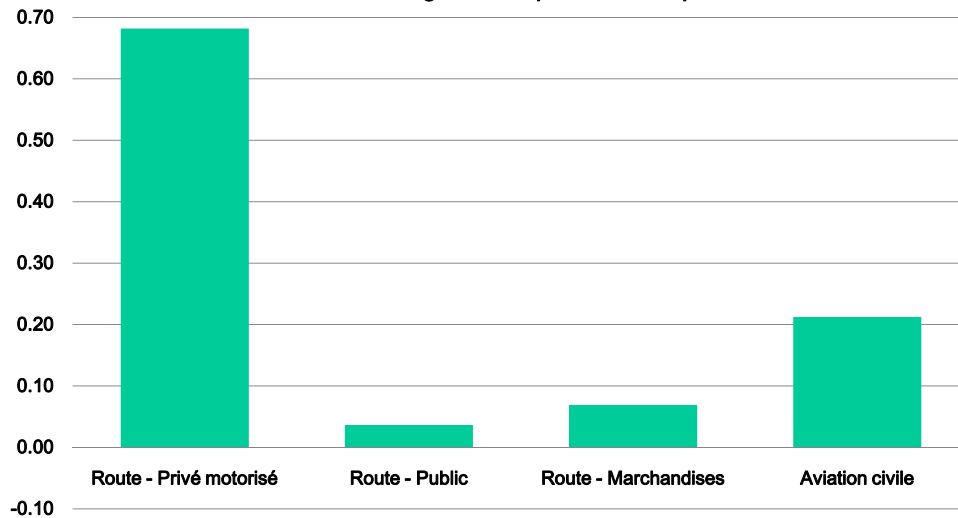


25

Les bâtiments - Perspectives

- A l'horizon de 50 – 100 ans, une réduction d'un **facteur 5** de l'énergie finale de chauffage des bâtiments est théoriquement possible - **Bâtiments rénovés, éventuellement plus petits, Habitat groupé**
- Une large utilisation de **pompes à chaleur** réduit encore les besoins en énergie finale d'un **facteur 2**

CH 2006 - Energie fossile pour les transports



EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

27

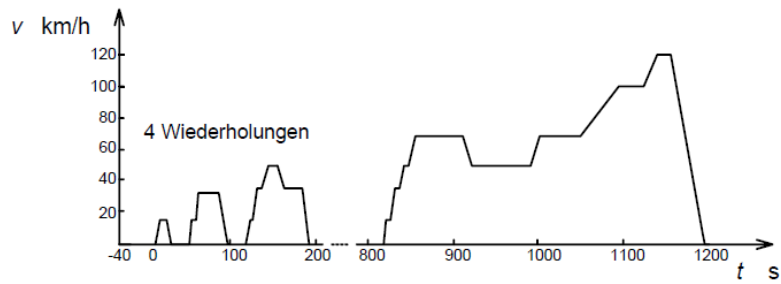
Consommation d'une auto

- Force nécessaire à produire une **accélération** - force qui produit de l'énergie de mouvement (énergie cinétique)
 - Dépend de la **masse du véhicule** et de la vitesse produite au carré
- Force nécessaire à vaincre les **frottements de l'air**
 - Dépend de la **surface frontale du véhicule**, de son profil (**coef. Cx**) et de la vitesse
- Force nécessaire à vaincre les **frottements des pneus en contact avec la route**
 - Dépend de la **masse** du véhicule et de la nature du contact entre le pneu et la chaussée (**coef. Cr**)

EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

28

Le Cycle Européen normalisé



EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

29

Energie utile pour le Cycle Européen normalisé

$$E_{\text{utile}} \approx (11 m + 19'000 S C_x + 840 m C_r) \text{ kJ}/100 \text{ km}$$

Voiture de **classe moyenne** (Mercedes Classe B) / **Eco-car** :

- M = 1'500 kg / 800 kg
- S = 2.3 m² / 1.5 m²
- C_x = 0.3 / 0.3
- C_r = 0.012 / 0.012

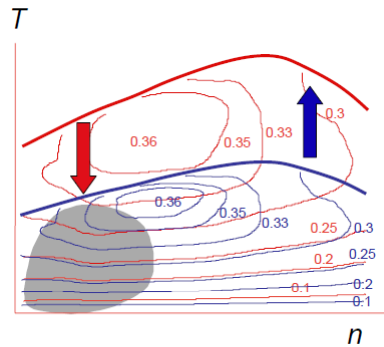
$$E_{\text{utile}}^{\text{classe moyenne}} \approx 45 \text{ MJ}/100 \text{ km} \approx 1.0 \text{ l diesel}/100 \text{ km}$$

$$E_{\text{utile}}^{\text{eco-car}} \approx 24 \text{ MJ}/100 \text{ km} \approx 0.5 \text{ l diesel}/100 \text{ km}$$

EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

30

Downsizing

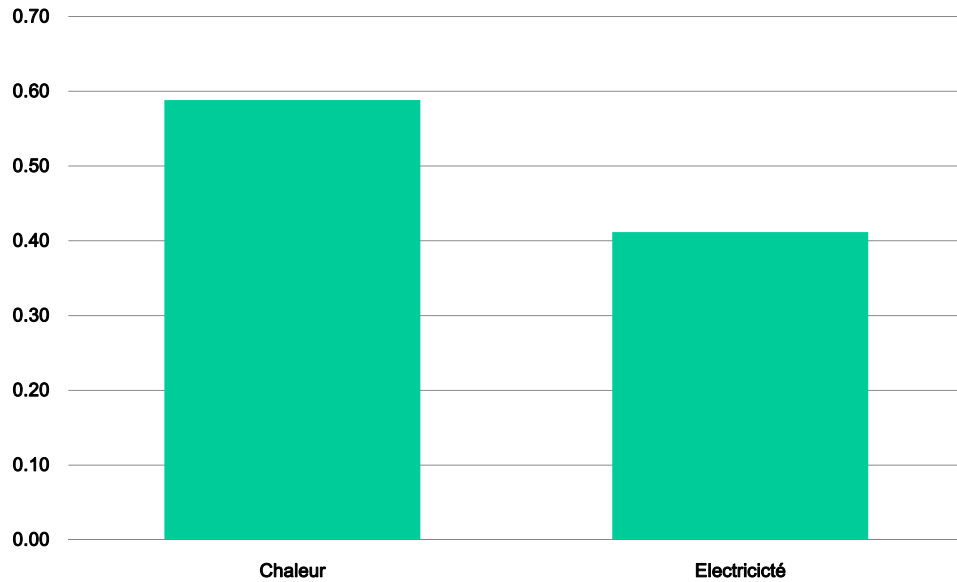


L. Guzzella

Les transports - Perspectives

- Une réduction des consommations énergétiques dans les transports individuels passe impérativement par une **réduction de la grandeur et de la masse des véhicules** (Eco-car, plutôt que classe moyenne)
- Le **downsizing** va améliorer le rendement des moteurs thermiques
- **L'électrification** des transports individuels diminuera drastiquement les pertes de conversion (**facteur 5**)
- **Les transports aériens continueront à être particulièrement gourmands**

Industrie - Répartition Chaleur / Electricité



EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

33

Industrie : Possibilités d'action

- **Optimisation** de chacun des processus (thermique, électrique)
- **Récupération de la chaleur** d'un processus :
 - à l'intérieur même du processus
 - dans un autre processus
 - à l'extérieur de l'usine
- « **Ecologie industrielle** »

EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

34

Un exemple d'écologie industrielle : le site chimique de Monthey



Synthèse et conditionnement de :

- pigments haute performance, azurants optiques



Synthèse et conditionnement de :

- produits phytosanitaires, produits chimiques de base



Synthèse et conditionnement de :

- polymères

Joint Venture
BASF / Syngenta



- Santé au travail, gestion environnement et sécurité
- Infrastructure site
- Traitement des résidus (fours, OVH, Step)
- Energies (production / distribution)
- Ingénierie, maintenance
- Automatisation
- Formation
- Protection d'entreprises
- Administration du personnel, restauration

P. Gross et B. Peterer

L'industrie - Perspectives

- La particularité des processus industriels, c'est qu'ils sont souvent particuliers, et donc coûteux à analyser et optimiser
- Toutefois, le **regroupements de plusieurs processus** permet d'utiliser des synergies (méthode du pincement, « écologie industrielle »)
- Une réduction des besoins énergétiques de **20%** à moyen terme, sans diminution de la production industrielle, est réaliste

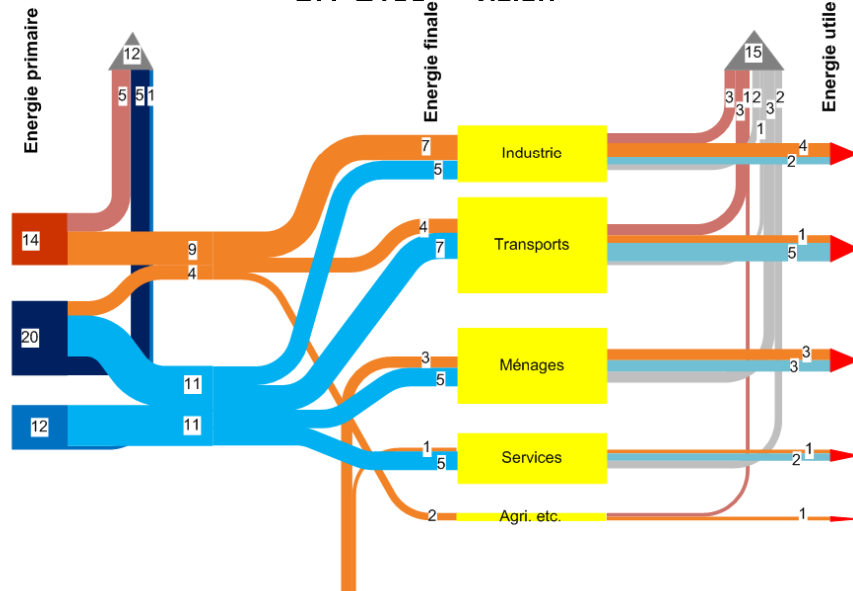
Propositions **osées** – Energie et CO₂

- **Réduire les besoins :**
 - Réduction de **20 %** sur l'énergie utile dans les transports, les processus industriels et les processus ménagers
 - Réduction de **80 %** sur les besoins de chaleur des immeubles (logements et administrations)
- **Chaleur de l'environnement** pour chauffage des locaux (PAC)
- **Electrification des transports** pour en diminuer les pertes

CH 2100 : Quel scénario pour les énergies primaires ?

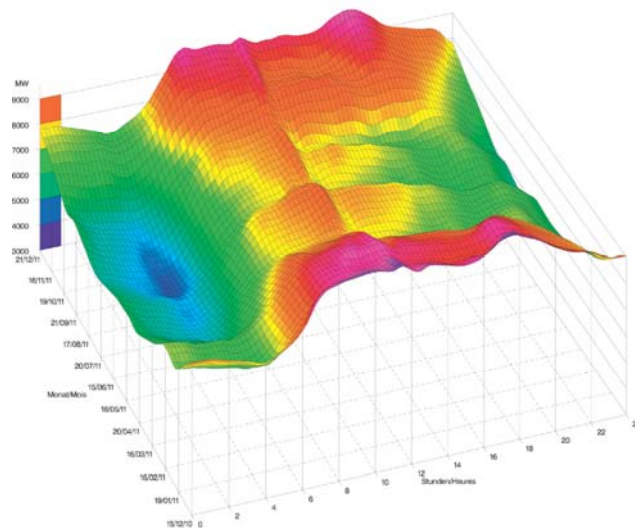
- **« Diversité domestique »** : mix formé de nucléaire, renforcement hydroélectricité, solaire, éolien
- **« Economique »** : tout nucléaire
- **« Not in my back yard »** : solaire du désert, nucléaire étranger, charbon étranger
- **«Renouvelable»** : Eolien, solaire local, biomasse
- **«Le vôtre »** :

CH 2100 - vision



EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

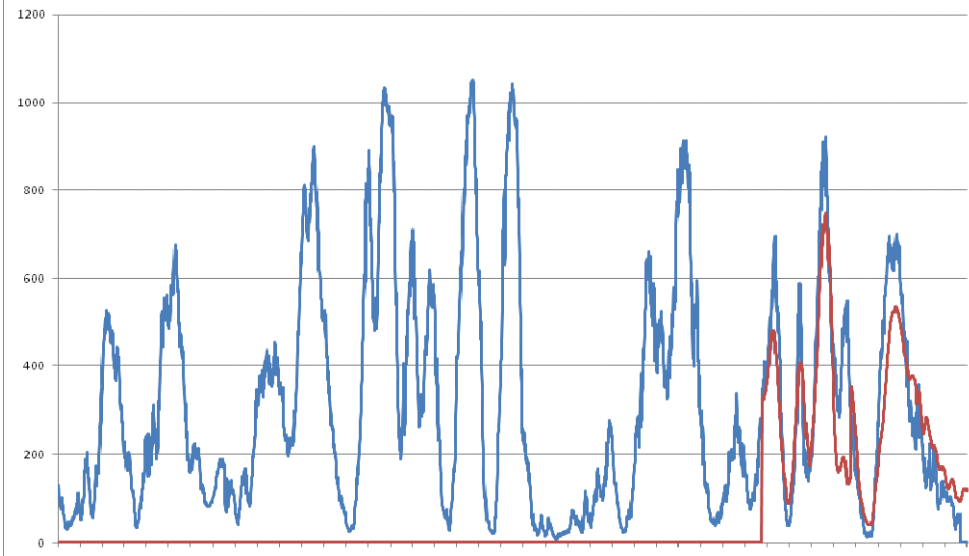
Belastungswerte 2011 der schweizerischen Elektrizitätswerke
Charge horaire et mensuelle des centrales électriques suisses en 2011



Quelle: BFE, Schweizerische Elektrizitätswerke 2011
Source: BFE, Statistique suisse de l'électricité 2011

EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

Eolien - Irlande [MW]
1er janvier - 10 février 2010
www.eirgrid.com



EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

41

Les possibilités de stockage

- **Volant d'inertie** : jusqu'à 1000 kWh si 800 t à 125 tours minutes
- **Supercapacité** : jusqu'à 1 kWh, stocké et rendu très rapidement (récupération de l'énergie de freinage d'une auto)
- **Vanadium** : VRB (vanadium redox battery). Pour stocker 10 GWh il faut :
 - (500 x 500 x 2) m³
 - 36'000 t de vanadium (production mondiale annuelle : 40'000 t, réserves mondiales estimées : 63'000'000 t)
- **Pompage-turbinage** : Pour stocker 10 GWh il faut :
 - 10 millions de m³ avec 300 m de chute

EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

42



EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie

Conclusion

Réduction des besoins

Diminution des pertes
de conversion

Energies renouvelables

EM 21 : Vers l'indépendance des flux d'énergie