

# **Le facteur 4 en France: yes we can!**

Scénarios Negatep, Negawatt, MIES

**Pierre Bacher**

**membre du conseil scientifique SLC**

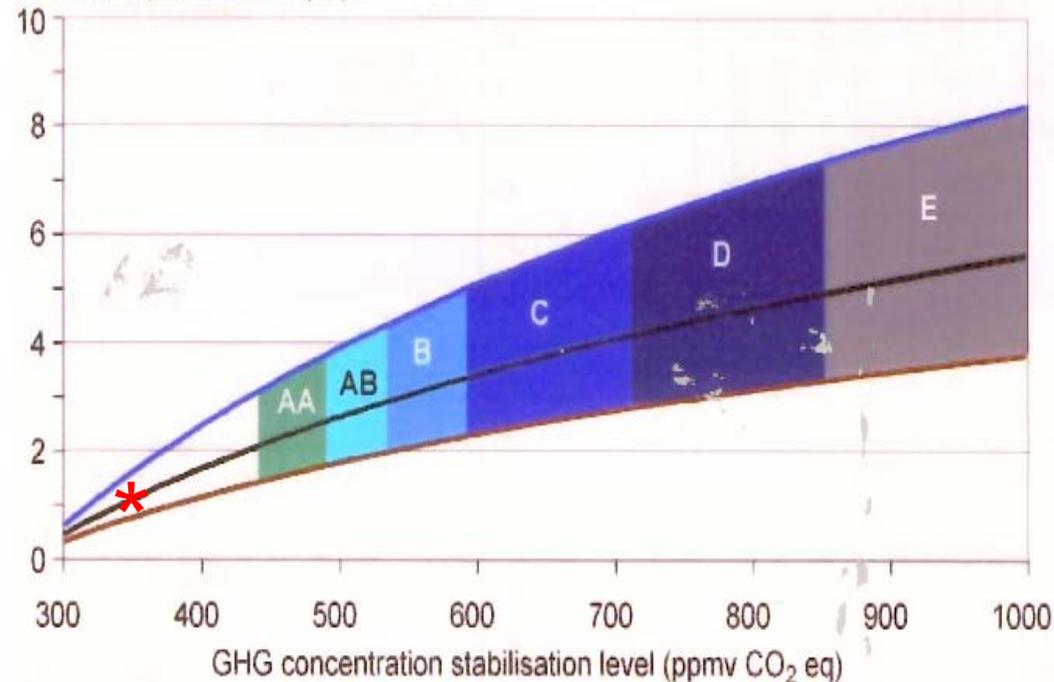
**auteur de « L'énergie en 21 questions » (Odile Jacob)**

# Plan

- Pourquoi un facteur 4
- Les incontournables: sobriété et efficacité énergétique
- Le scénario Negatep
- Les scénarios Negawatt et MIES
- Les incertitudes
- Yes we can

# GIEC — températures d'équilibre vs. concentration de CO2 équivalent

Equilibrium global mean temperature increase above preindustrial (°C)



Un consensus international :  
Limiter le réchauffement  
à 2°C (4 à 500 ppm CO<sub>2</sub> eq.)

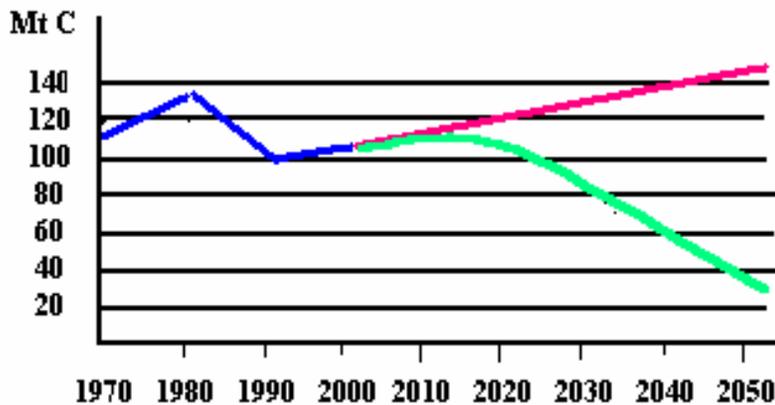
Conséquences en termes de rejets  
Monde: diviser par 2  
Pays industriels: diviser par 4 à 8

Engagements français  
Diviser par 4 d'ici 2050 (loi 2005)  
Réduire de 20 à 30 % d'ici 2020  
(Grenelle)

Source – rapport GIEC III mai 2007

# « Business as usual » ou facteur 4 et rupture ?

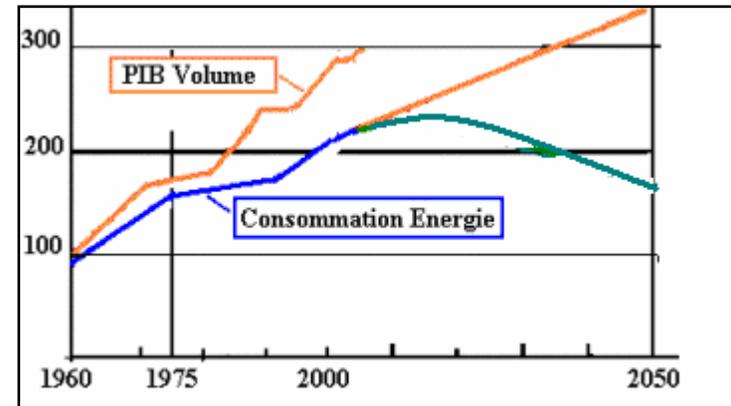
CO<sub>2</sub>



Tendance

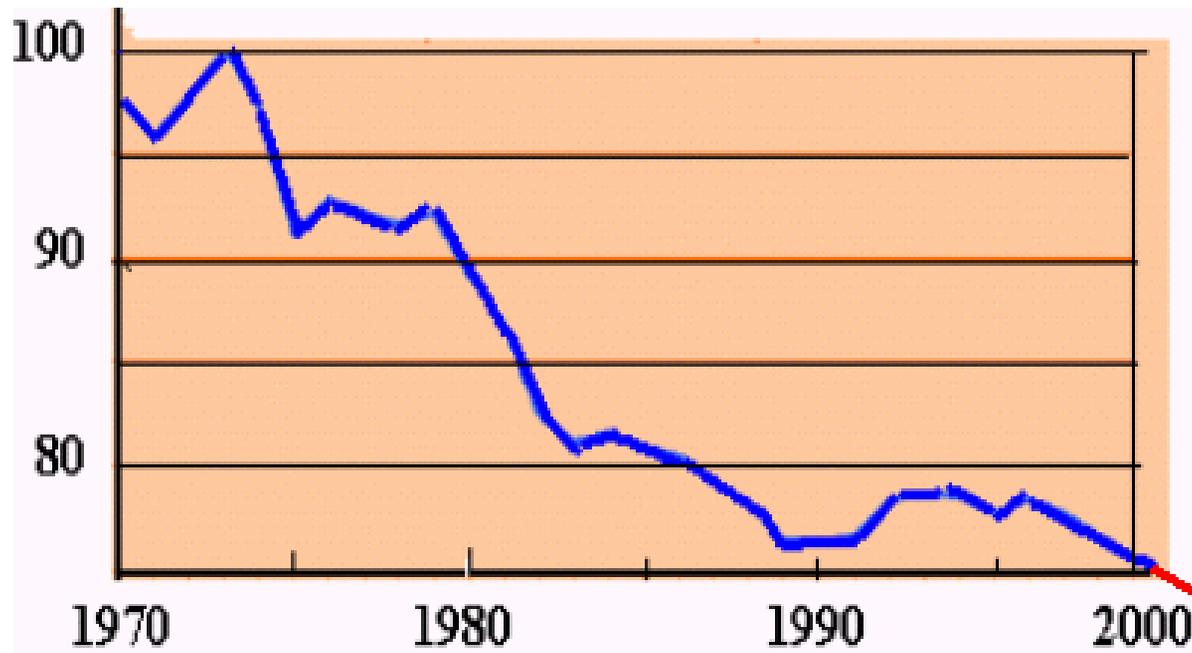
Facteur 4

Énergie

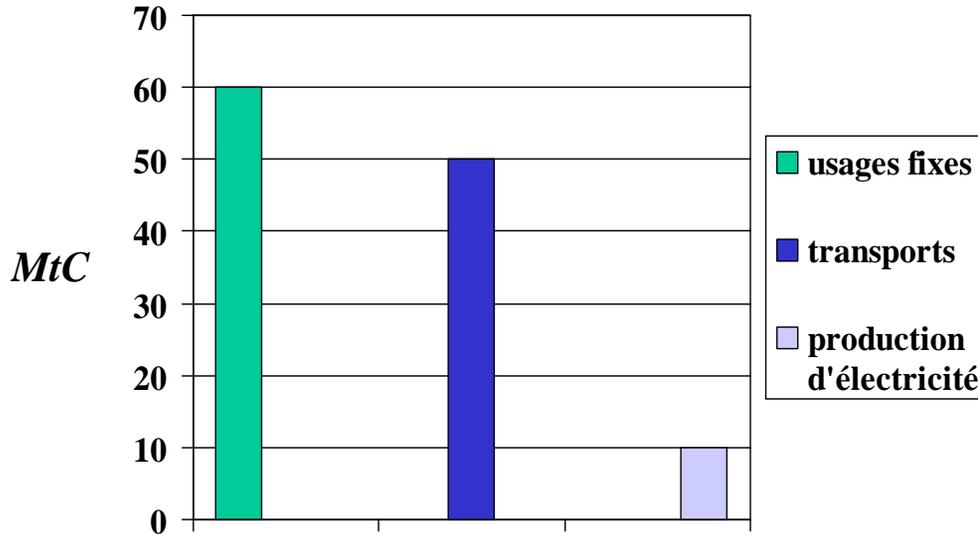


**Aucun scénario n'imagine que l'on puisse diviser par 4 les rejets de GES (essentiellement CO<sub>2</sub>) sans réduire la demande.**

# Un exemple: l'évolution de l'intensité énergétique (industrie)



# Qui émet du CO2 en France ?



*Les efforts doivent donc porter sur les **usages fixes** et les **transports**, sans augmenter les rejets dus à l'**électricité**.*

**Negatep s'attaque en priorité aux usages des combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz).**

# En France, un « facteur 4 » est-il possible et réaliste?

	Usages fixes	Usages mobiles
Chaleur fossile	Économies (isolation...) ↓	Hybrides, motorisations, utilisation ↓
	ENR (bois, solaire...) ↓	Sécurité, confort ↑
Électricité	Usages traditionnels ↓	Hybrides biénergie, électriques de ville ↑
	Pompes à chaleur, produits gris... ↑	Apport énergie agro carburants ↑

Bacher

# Projet de loi Grenelle : l'indispensable volet économique

**Les sommes en jeu sont considérables : pour économiser 30 Mtep par an en 2020, il faut investir des dizaines de G€ chaque année.**

**La première opération est « blanche » avec un pétrole à 500 €/t La seconde ne l'est que pour un pétrole à 1000 €/t**



*Exemple habitat:*

Fenêtres, huisseries, combles...

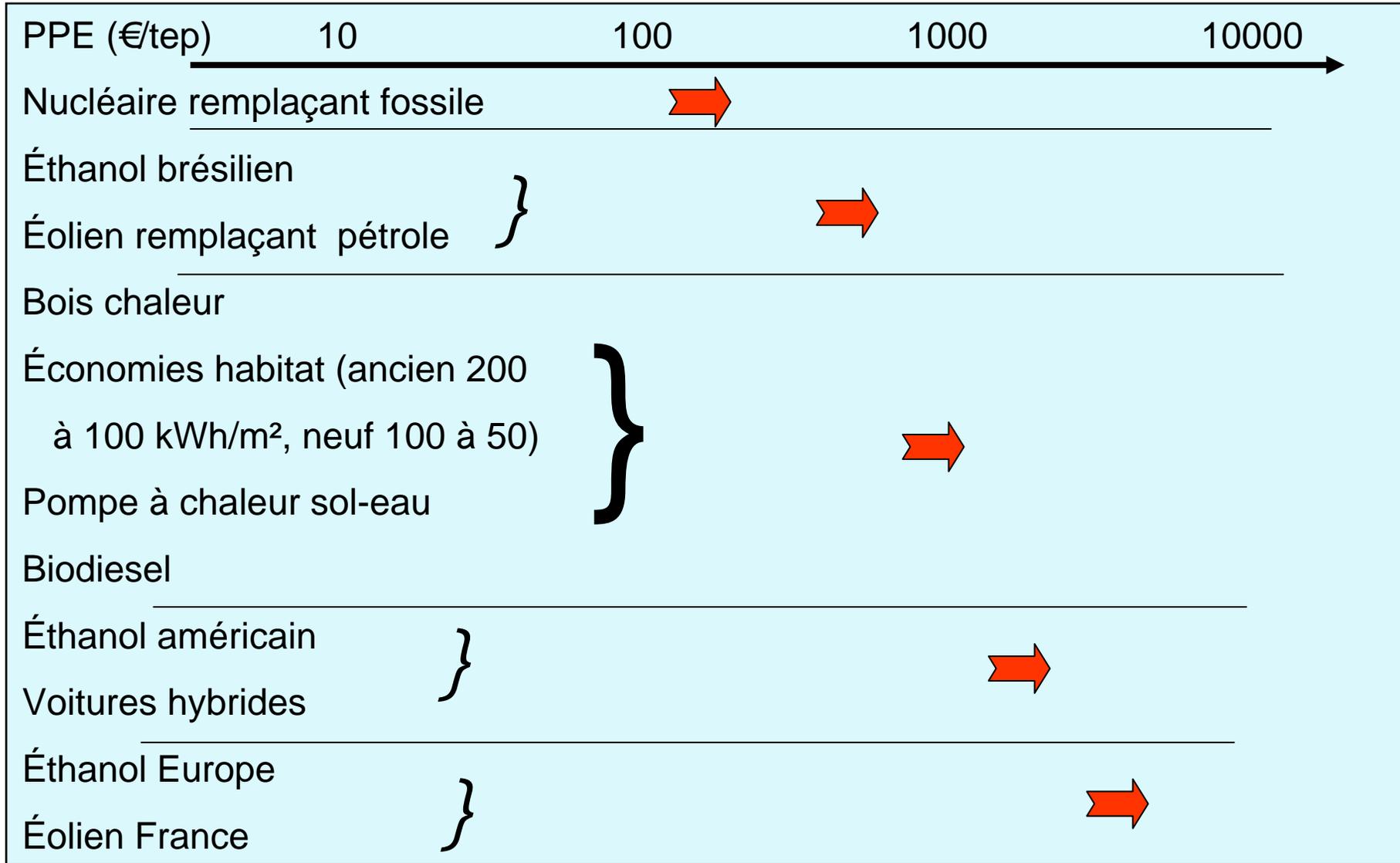
- coût 10000 € (charge annuelle 700€)
- consommation 3 tep ☹️ 1,5 tep
- coût de la tep économisée: **500 €**

Isolation complète

- coût supplémentaire 10000 €
- consommation 1,5 ☹️ 0,75 tep
- coût de la tep économisée: **1000 €**

**Un critère d'évaluation:  
le Prix du Pétrole Equivalent**

# Comment tendre vers F4 ?



## Comment réduire les combustibles fossiles pour les usages fixes (chaleur hors électricité spécifique) ?

➤ Tendance de consommation (+ 1 % par an*):	86	↗	126
➤ Negatep (économies..., - 0,5 % par an)		↘	71
➤ Bois et assimilé	10	↗	20
➤ Solaire, géothermie, divers	-	↗	12
➤ Énergies fossiles	62	↘	18
➤ Électricité chaleur ( <b>terme de bouclage</b> )	14	↗	21

*...mais les énergies renouvelables ne perceront que si le prix des fossiles sont suffisamment élevés (durablement > 100 \$/baril)*

\* bâtiments + 1,2 %/an, industrie + 0,8 %/an

# Comment réduire les combustibles fossiles pour les transports?

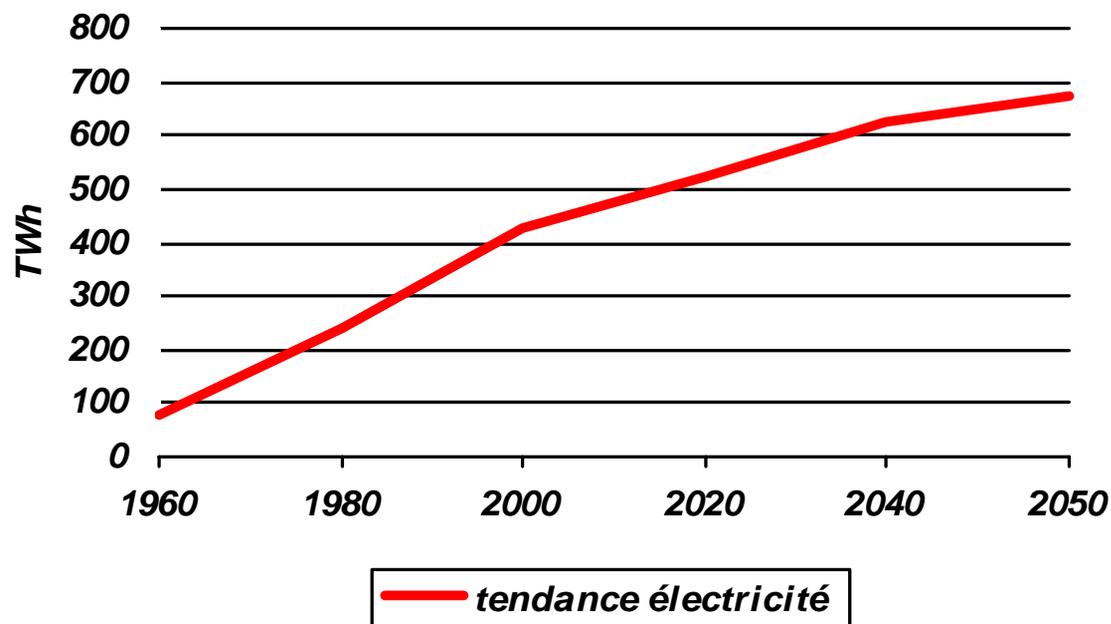
- **Tendance de consommation (+ 1%/an)** **50 ↗ 75 Mtep**
- **Economies (motorisations, comportement, ferroviaire, voie d'eau,...)** **> 25 à 35 Mtep**  
(par rapport à tendance)
- **Biocarburants**
  - à partir de cultures:
  - à partir de bois, et déchets agricoles} **~ 10 à 15 Mtep**  
(+ 5 à 10 Mtep d'électricité)
- **Motorisations hybrides avec batteries 50 km** **~ 10 Mtep**  
(remplacés par 2,5 Mtep d'électricité)
- **Motorisations électriques**
  - batteries
  - H2 + piles à combustible} **~ 5 à 10 Mtep**  
(remplacés par 1,25 à 2,5 tep d'électricité)
- **Pétrole** **~ 10 à 15 Mtep**

***...mais les batteries et biocarburants ne perceront que si les prix des fossiles sont suffisamment élevés (durablement > 150 \$/baril)***

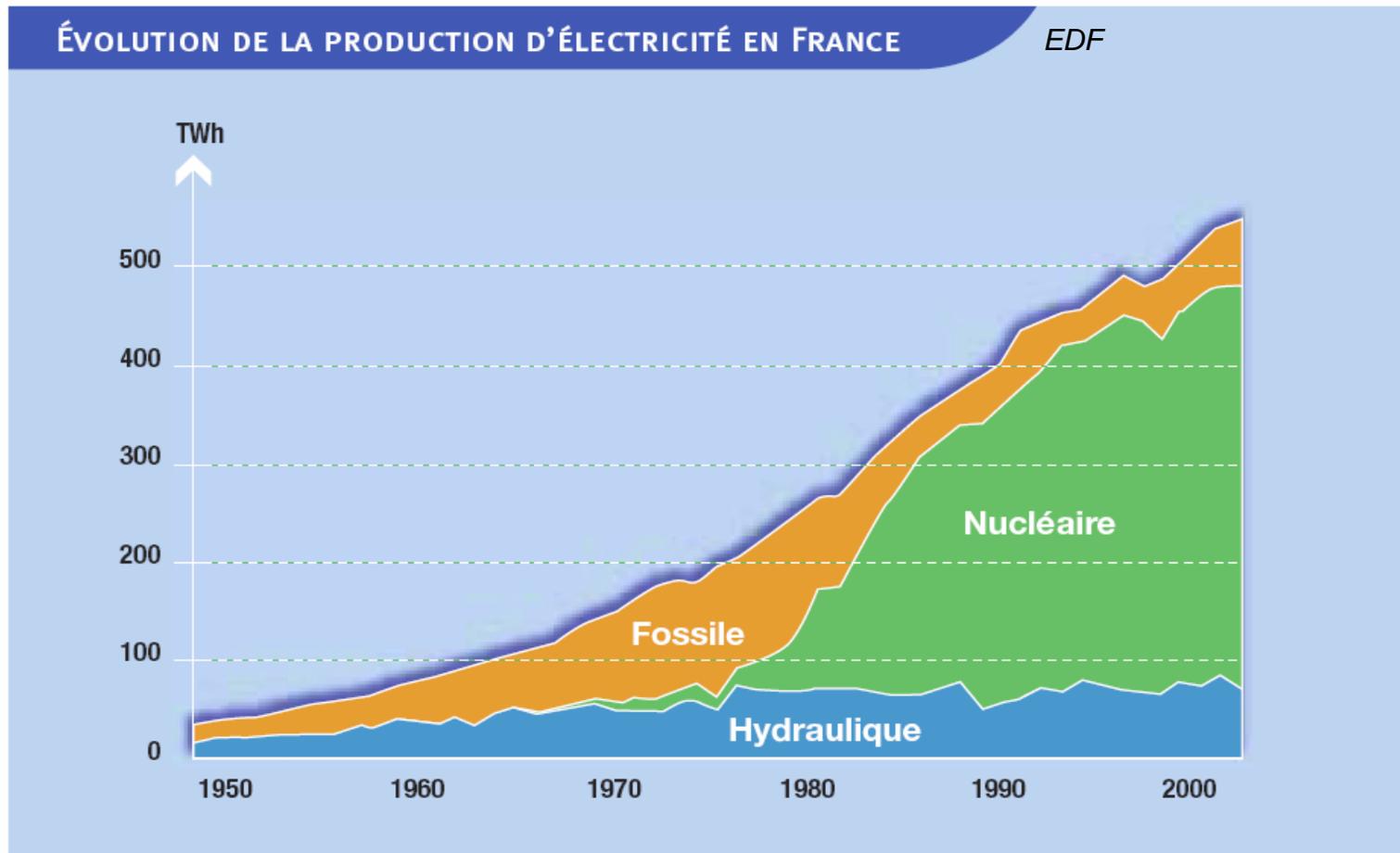
# L'électricité contre l'effet de serre

- L'évolution passée
- La demande
- L'offre

# Évolution de la tendance de consommation d'électricité



# Évolution de la production d'électricité en France



# Les besoins d'électricité

➤ Besoins spécifiques « traditionnels » (résidentiel, tertiaire et industrie)

=

➤ Résidentiel et tertiaire – chauffage « intelligent », pompes à chaleur associées à l'énergie solaire et géothermique

+ 5 à 10 Mtep

➤ Transports

- véhicules hybrides ou électriques
- filière H2, agro carburants 2<sup>ème</sup> génération

+ 3 à 5 Mtep

+ 5 à 10 Mtep

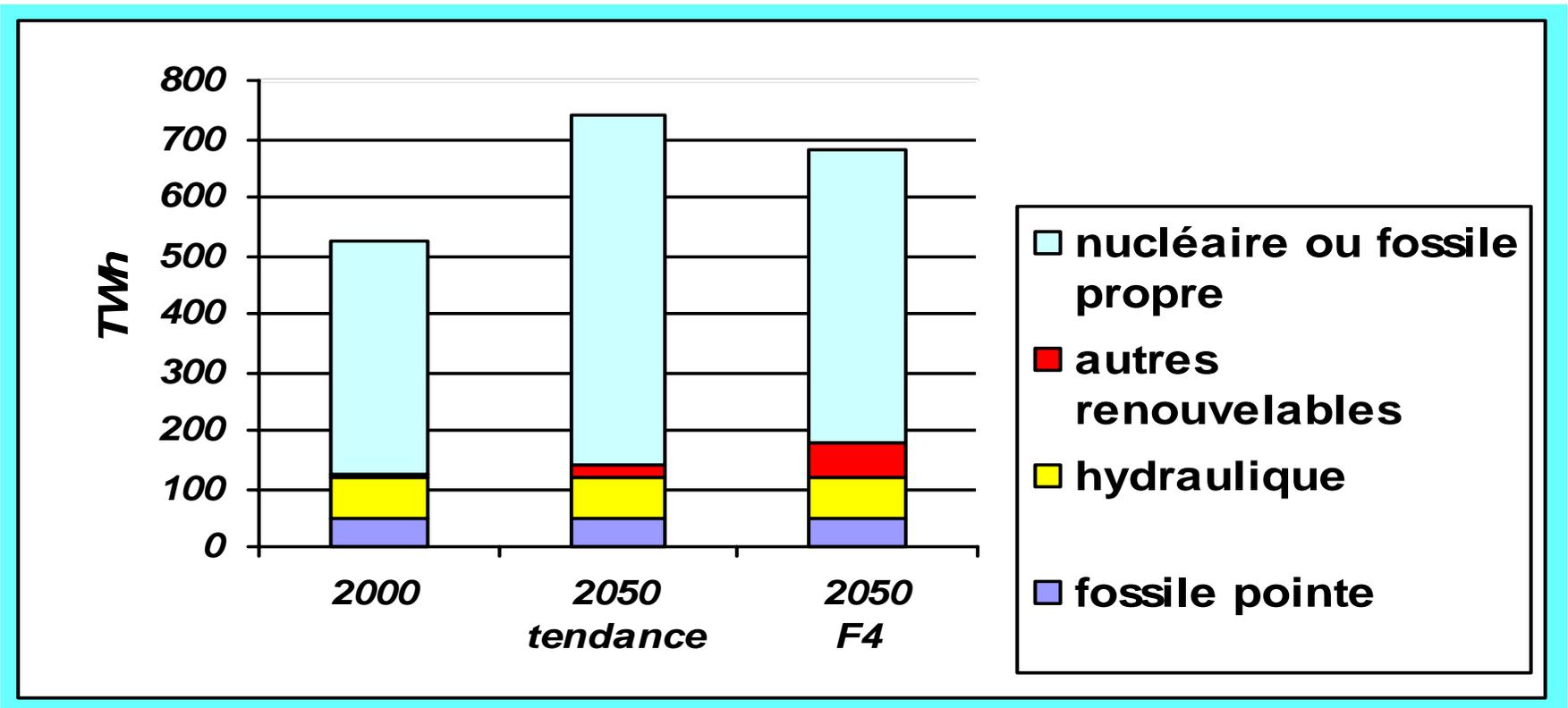
Total

+ 13 à 25 Mtep

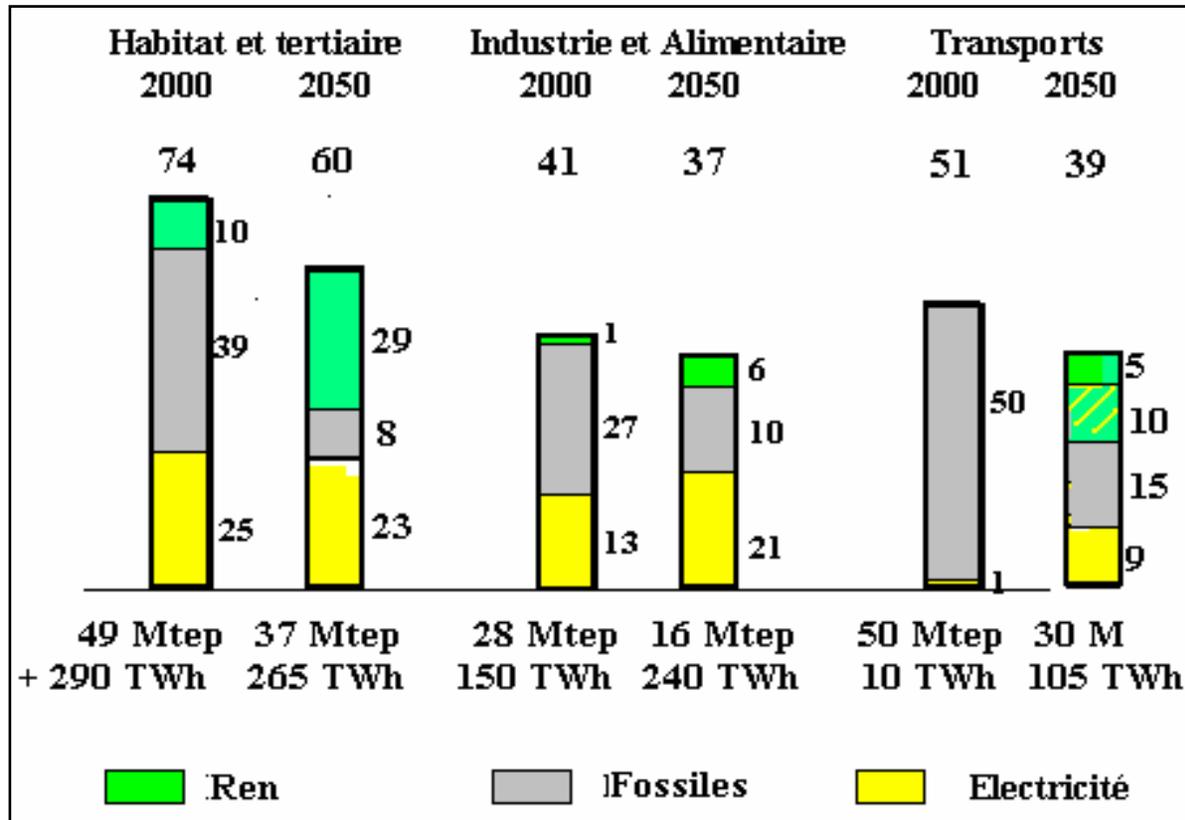
# Comment produire l'électricité sans augmenter les rejets de CO<sub>2</sub>

➤ <b>Nucléaire – 75 % du total + exportation</b>	<b>30 -45 €/MWh</b>
➤ <b>Hydraulique – 70 TWh, stable</b>	<b>~10 €/MWh</b>
➤ <b>Eolien – 20 TWh (?), problème de coût et de disponibilité</b>	<b>60 €/MWh</b>
➤ <b>Autres renouvelables et cogénération ~ 20 TWh</b>	
➤ <b>Fossile (pointe et associé à éolien)) ~ 50 TWh</b>	
➤ <b>Photovoltaïque : la grande inconnue</b>	<b>&gt; 300 €/MWh</b>

# Electricité par source d'énergie

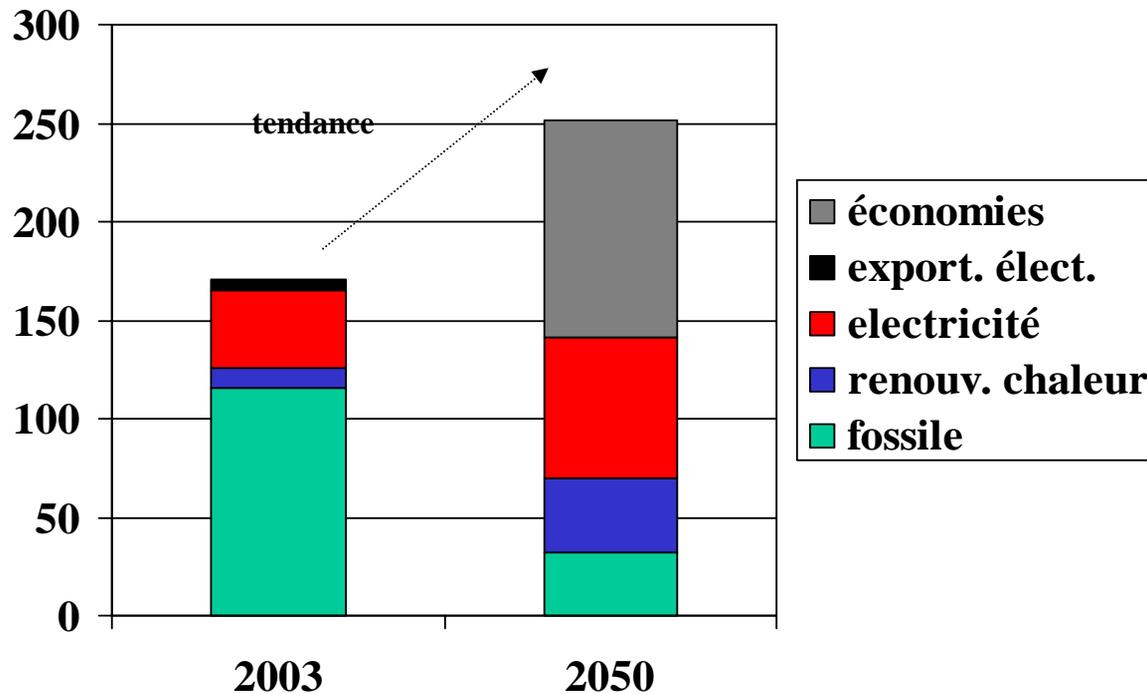


# Bilans d'énergie negatep



# Bouquet énergétique 2003 / 2050

(« énergie finale » Mtep)



*Rejets CO<sub>2</sub> (MtC)*    **120**

**30**

*Acket - Bacher*

# Comparaison des scénarios Négatep et Négawatt

Les scénarios Négawatt et Négatep, visent l'un et l'autre un facteur 4 sur les rejets de CO2 en 2050.

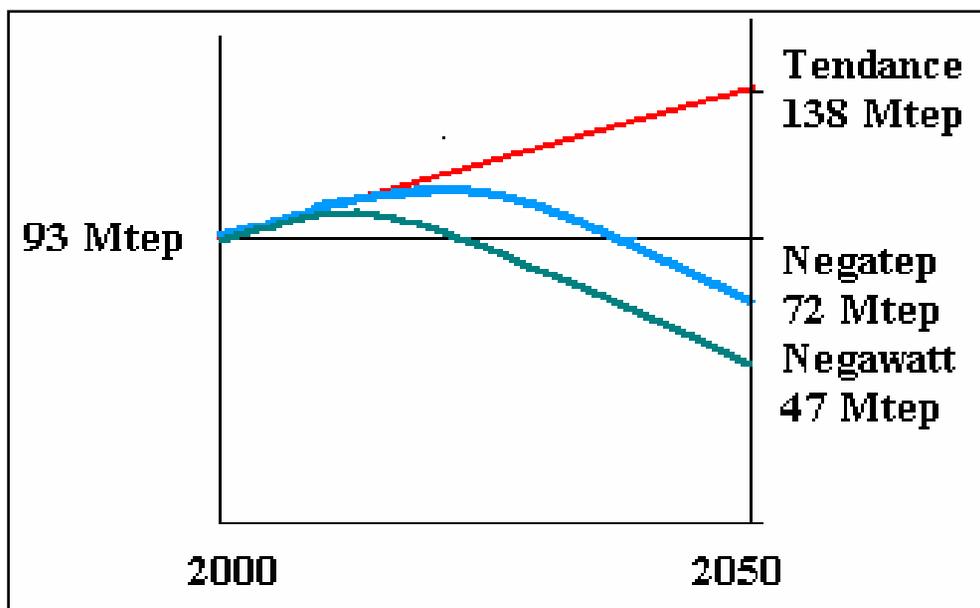
Mais, contrairement à Negatep, Negawatt table exclusivement sur les économies d'énergie (sobriété et efficacité) et les énergies renouvelables pour atteindre cet objectif, et prévoit l'abandon du nucléaire.

Trois points majeurs de divergence:

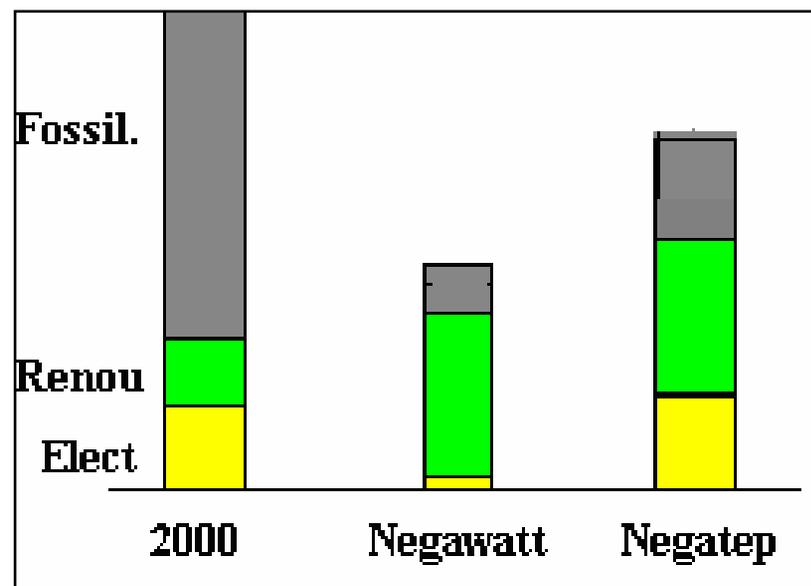
- l'ampleur de la demande – *facteur ~ 3 par rapport à tendance pour negawatt, ~ 2 pour negatep*
- l'importance de l'électricité comme moyen de limiter le CO2 - *~ 0 pour negawatt, + 50 % pour negatep*
- les moyens de produire l'électricité - *gaz et énergies intermittentes pour negawatt, nucléaire pour negatep*

*Acket - bacher*

# Négatep –Négawatt – besoins fixes et ressources



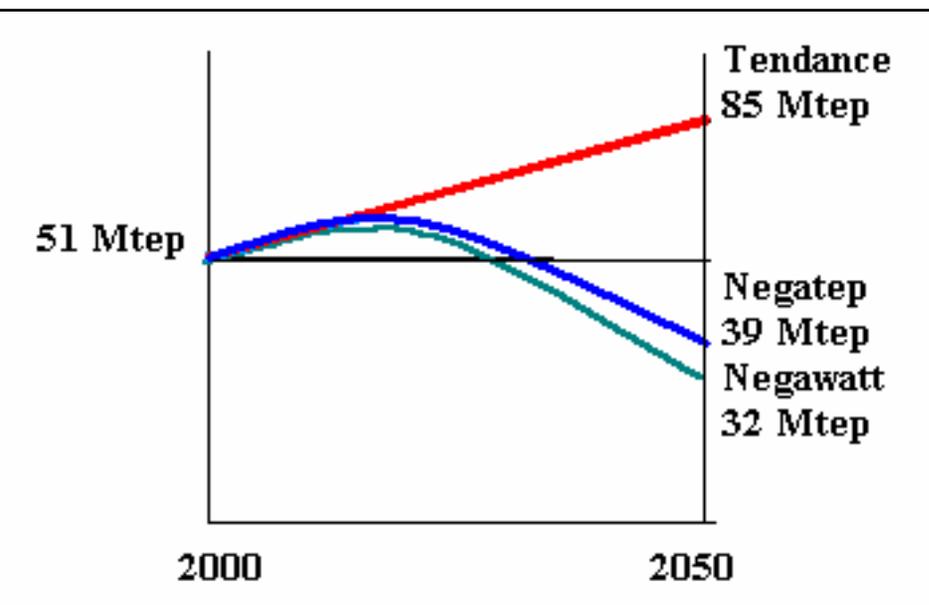
**Besoins fixes**



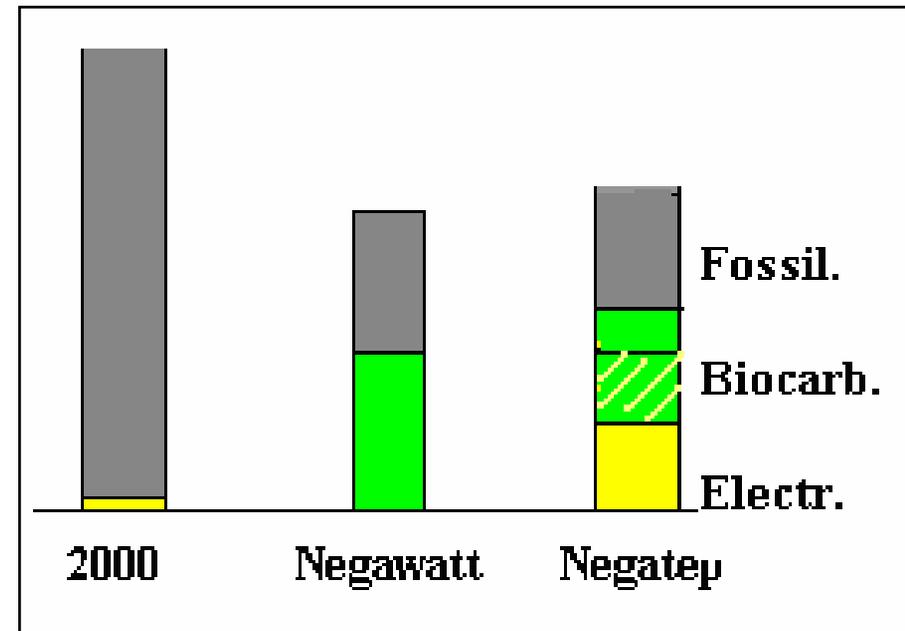
**ressources**

Acket - Bacher

# Négatep – Négawatt – besoins et ressources – mobilité



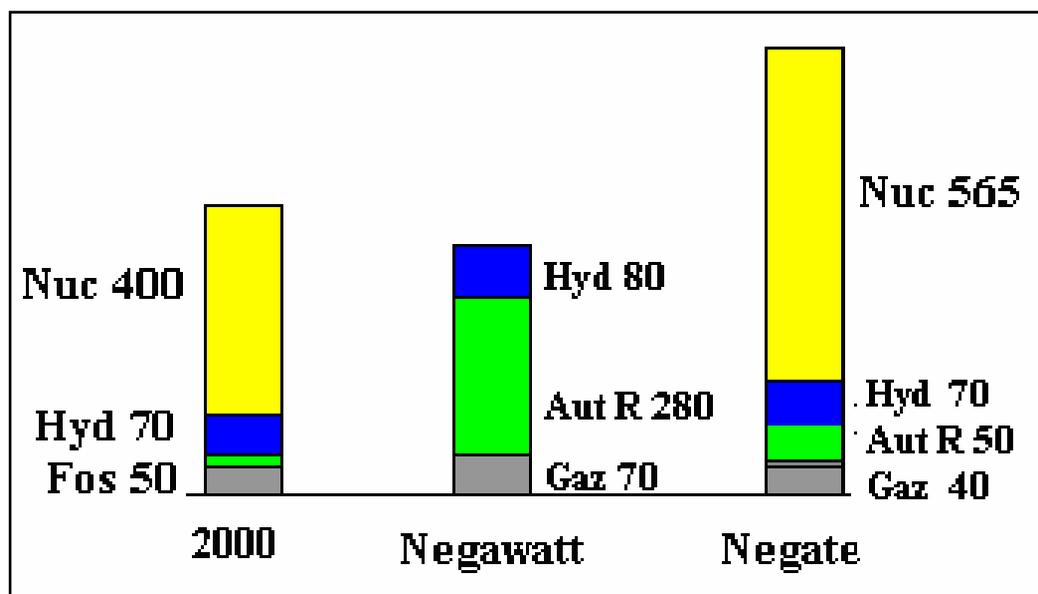
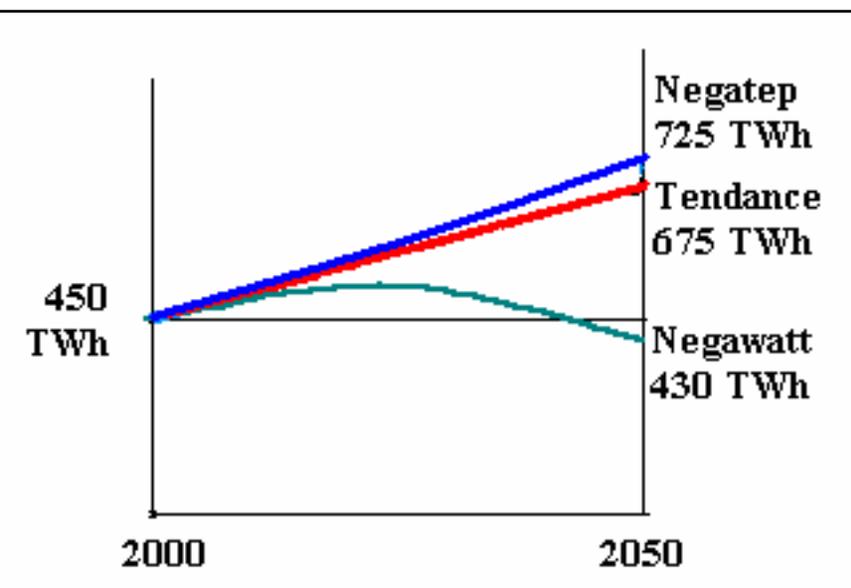
**Besoins mobilité**



**Ressources**

*Acket - Bacher*

# Negatep – Négawatt – besoins et ressources électricité (TWh)

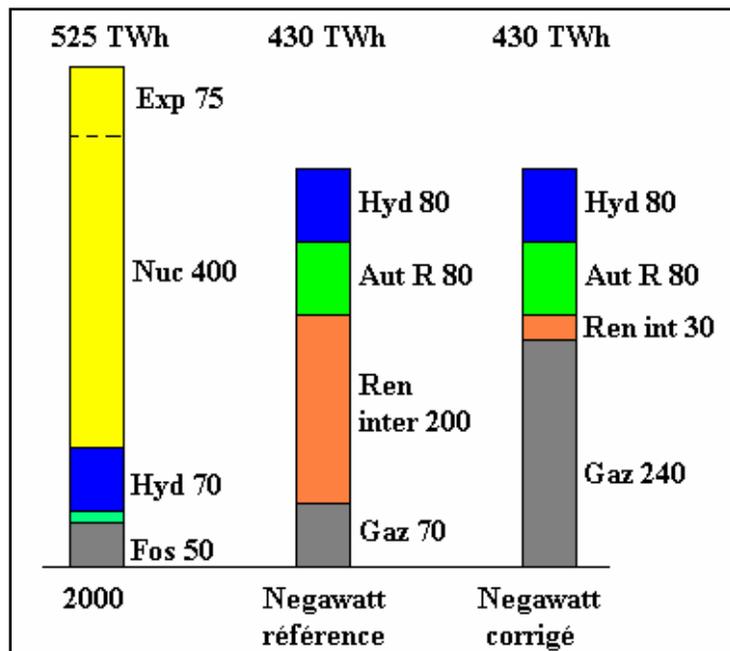


**Besoins d'électricité**

**ressources**

*Acket - Bacher*

# Négawatt corrigé pour la production d'électricité



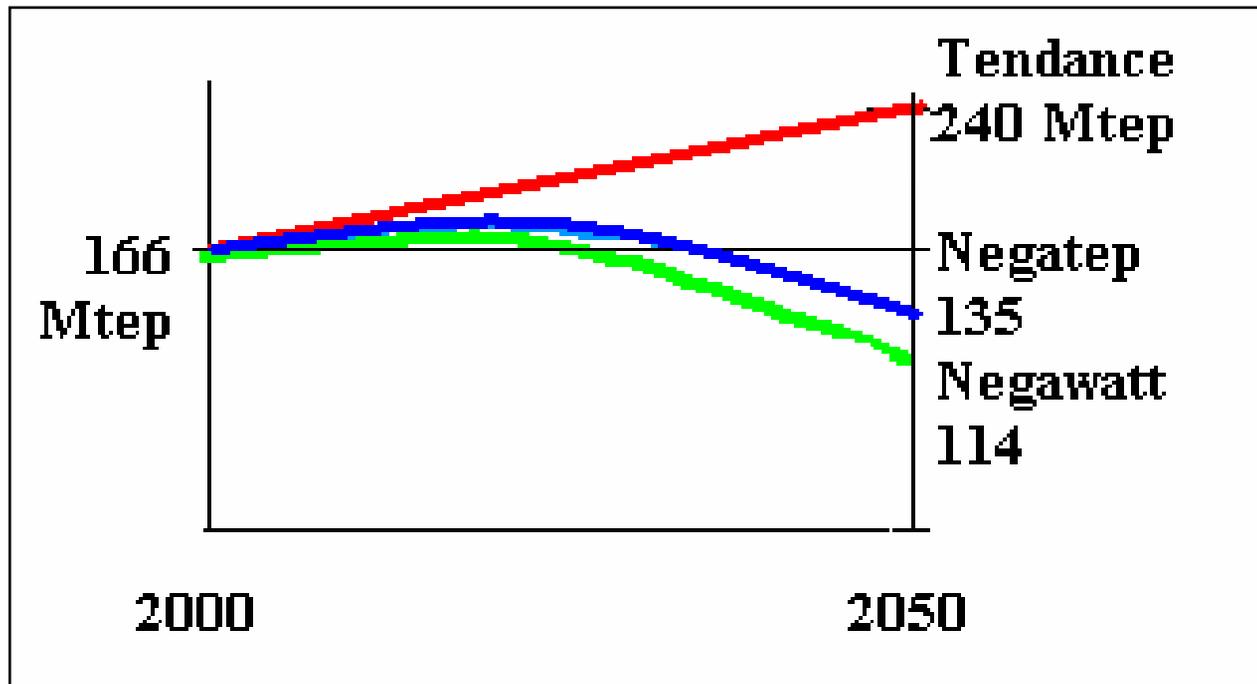
En cas d'échec de la stratégie Négawatt, la seule solution est le gaz naturel, entraînant un doublement des rejets de CO<sub>2</sub>.

Noter qu'en 2035, negawatt prévoit 200 TWh d'électricité produite avec du gaz

Même si on admet 70 TWh intermittents (et 200 TWh gaz), cela ne change pas les ordres de grandeur de CO<sub>2</sub>.

Rejets dus à l'électricité			
Mt CO <sub>2</sub> /an (MtC/an)	40 (11)	42 (11)	143 (39)
Rejets totaux			
Mt CO <sub>2</sub> /an (MtC/an)	407 (110)	118 (32)	220 (60)

## Négatep – Négawatt : bilan (énergie finale)



## Negawatt: *3 hypothèses en question*

➤ *1<sup>ère</sup> hypothèse* - il est possible de diviser la consommation finale par 2 (l'énergie primaire par 3) par rapport à la tendance :

*que fait-on en cas d'échec?*

➤ *2<sup>ème</sup> hypothèse* - il est possible de ne pas faire appel à l'électricité pour réduire les rejets de CO<sub>2</sub> (430 TWh en 2050): *paradoxal, alors que l'électricité est la seule énergie « propre » que l'on sache produire*

➤ *3<sup>ème</sup> hypothèse* - l'électricité nucléaire pourra être remplacée par des énergies renouvelables, dont 200 TWh intermittentes: *ceci est incompatible avec le réseau, et negawatt fera en réalité largement appel au gaz naturel (plus de 200 TWh, rejetant près de 40 MtC).*

# Scénarios MIES (P. Radanne)

## *Les principaux scénarios F4 étudiés:*

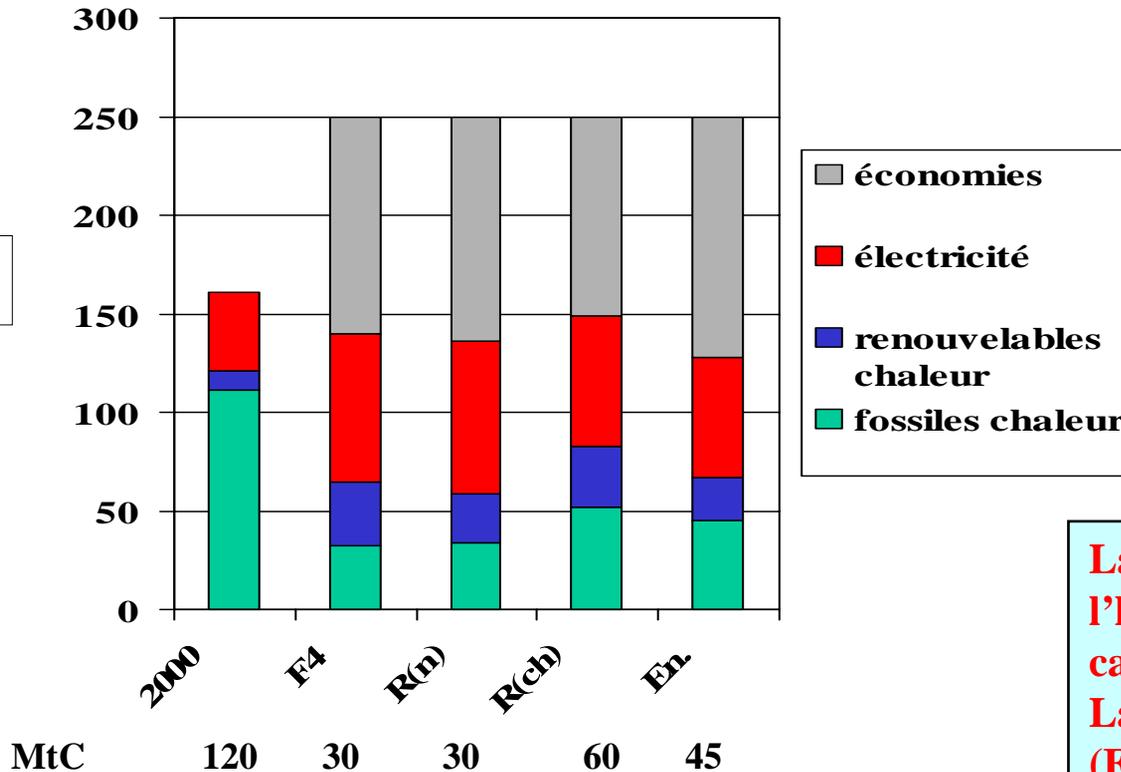
- « tout nucléaire »
- « tout charbon avec CCS »
- mix nucléaire – charbon avec CCS

## *Principales hypothèses*

- Consommation finale proche de l'actuelle (140 à 145 Mtep selon les scénarios)
- Gain de 25 % sur l'efficacité énergétique
- Forte augmentation de la part de l'électricité (de 50 à 100 %)
- part des énergies renouvelables 20 à 25 % de l'énergie finale

# Comparaison scénarios « F4 »

Mtep



- Scénarios:**
- F4 Negatep
  - Radanne « nucléaire »
  - Radanne « charbon »
  - Energata (DGEMP)

**La CCS, contrairement à l'hypothèse de la MIES, ne capte que 70 à 80 % du CO<sub>2</sub>. La correction porte à 60 MtC (F2) le scénario charbon**

Acket – Bacher – RGN (2006)

# Conclusions

**Le facteur 4 sur les rejets de CO2 est possible: « yes we can »**

***Conditions nécessaires:***

- « taxer » fortement le CO2
- aider les économies d'énergie (prêts gagés par les économies réalisées)
- développer la R&D dans les domaines non encore compétitifs (batteries, PV, PAC, nucléaire 4<sup>ème</sup> génération...)

***Mais aussi:***

- garder le maximum de fers au feu (dont le nucléaire) et de flexibilité
- éviter les rentes de situation (éolien)

# Quelques références

## *Scénarios*

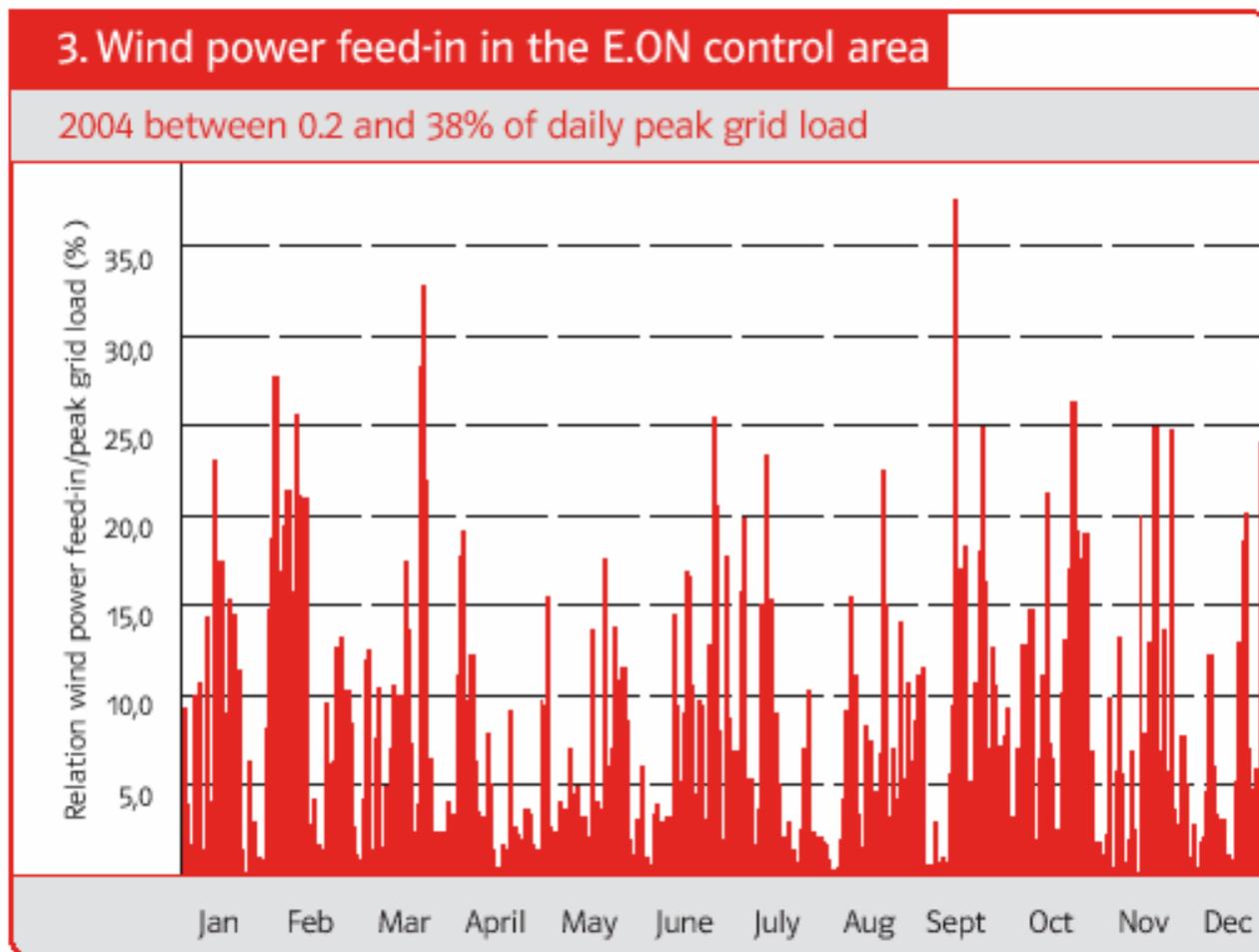
- Scénario negatop : site SLC – [www.sauvonsleclimat.org](http://www.sauvonsleclimat.org)
- Scénario negawatt 2006 : site negawatt – [www.negawatt.org](http://www.negawatt.org)
- Scénarios MIES : « la division par 4 des émissions de CO2: introduction au débat » rapport de P. Radanne à la Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (mars 2004)

## *Électricités intermittentes*

« 10 questions sur l'éolien à Gilbert Ruelle » [www.academie-technologies.fr](http://www.academie-technologies.fr)

# Puissance éolienne E-ON sur un an (max théorique: 7.558 MW)

Attention:  
% du  
réseau  
et non  
Puissance!

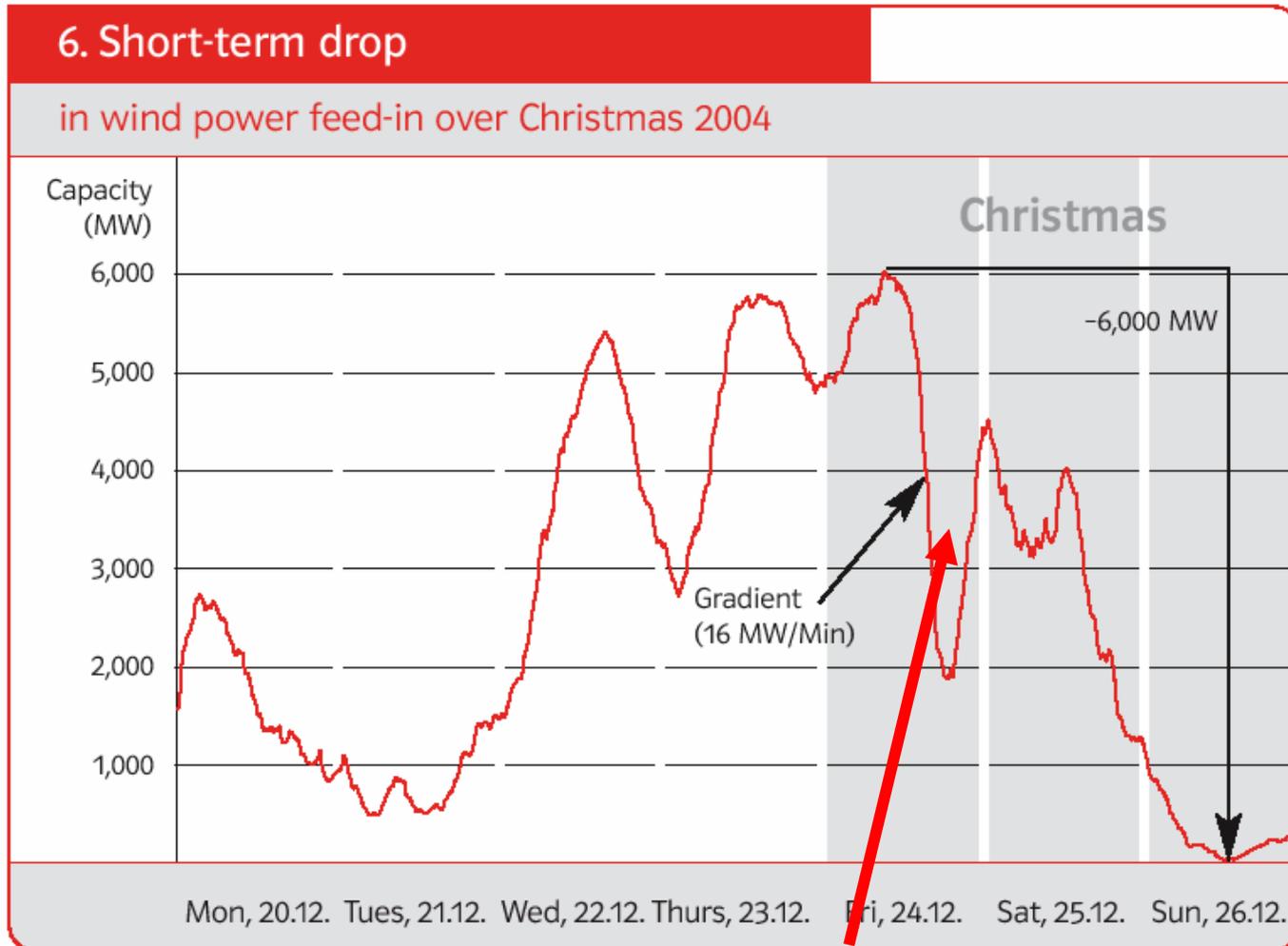


Max  
6234 MW

Min  
8 MW

**Puissance installée: 33.200MW dont éolien 7.558 MW (23%)**  
**Production: 271.300 MWh dont éolien 11.300 MWh (4,16%)**

# Puissance éolienne délivrée: détail



**Pente: 1000 MW par heure**