

Pour célébrer les 150 ans de l'École Centrale de Lyon



Cycle : Énergie : quelles nouvelles techniques ?

Les énergies renouvelables au service du développement durable

par Bernard Chabot, ADEME



www.efferve-sciences.ec-lyon.fr



Efferve'Science – 150 ans de l'ECL

Lyon, 21 novembre 2007

Les énergies renouvelables au service du développement durable

Bernard CHABOT
Expert Senior,

ADEME

500 route des lucioles - 06560 Valbonne - France

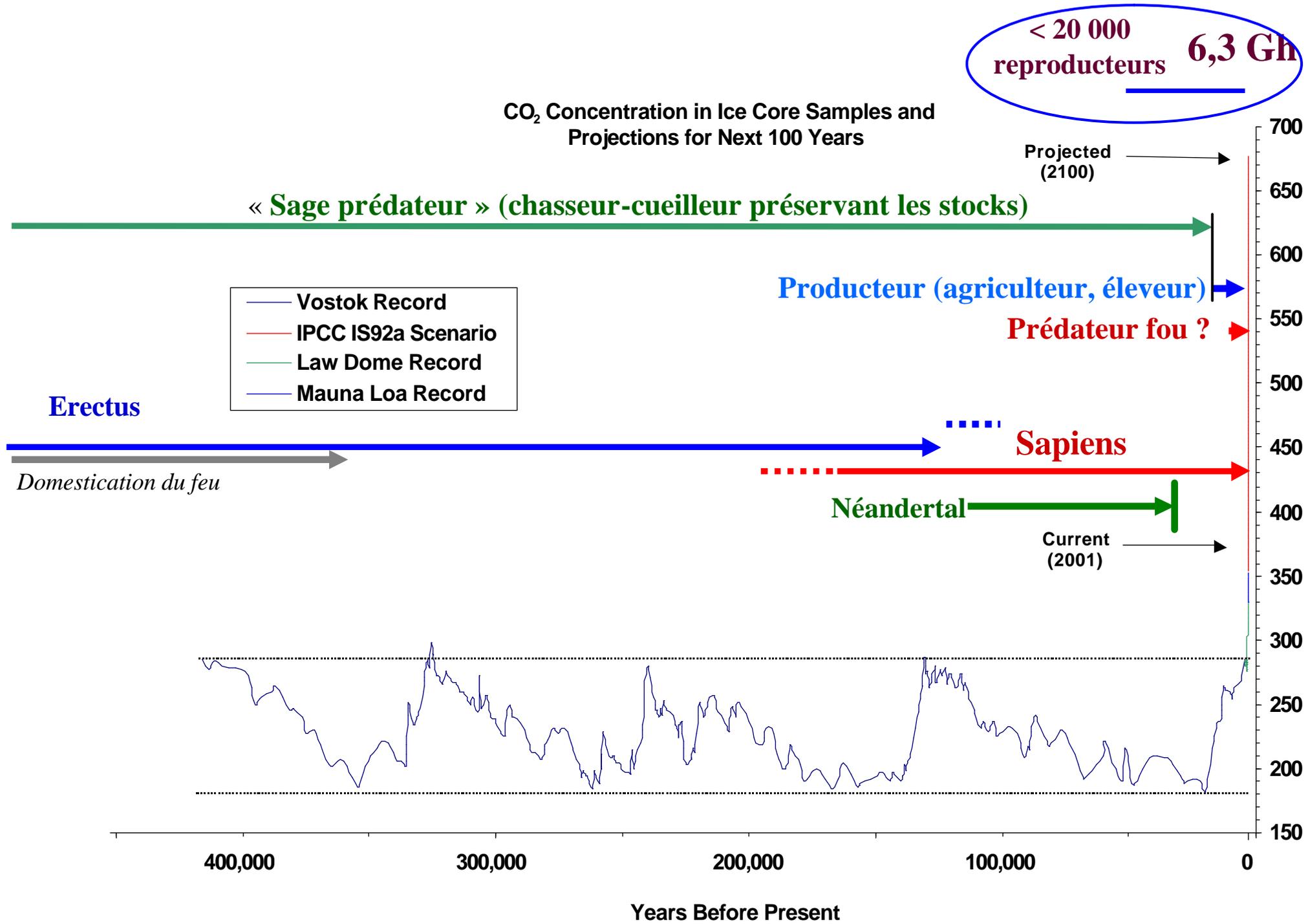
WWW.ademe.fr

Le contexte

Crises environnement - énergie: anticiper plutôt que subir !

- ❑ **6eme extinction: 25 à 30% espèces en danger sur 25 à 50 ans**
 - ⇒ Réconcilier l'homme avec sa biosphère et ses 3 à 30 millions d'espèces
 - ⇒ Passage de statut de prédateur (stocks) à jardinier de la biosphère (flux)
- ❑ **Réduire le risque de changement climatique largement amorcé**
 - ⇒ Limitation à moins de 2°C: division par 4 des émissions d'ici 2050 en PI
 - ⇒ Anticiper coût émissions « 10 à 40 €/tCO2 puis 50 à 100 €/tCO2 »
- ❑ **Anticiper les chocs pétroliers puis gaziers aigus et continus**
 - ⇒ Prise en compte coûts hors externalités de 50 à 100 \$/baril (ou plus !)
 - ⇒ Retour du critère indépendance énergétique (à la fois sur énergie finale et primaire)
- ❑ **Analyser les contraintes et les risques des solutions potentielles:**
 - ⇒ Faisabilité dans délais adaptés à l'urgence : avant 2020, sinon trop tard !
 - ⇒ Coûts directs et indirects (externalités négatives)
- ❑ **Les scénarii « Business as usual » ne sont plus d'actualité !**

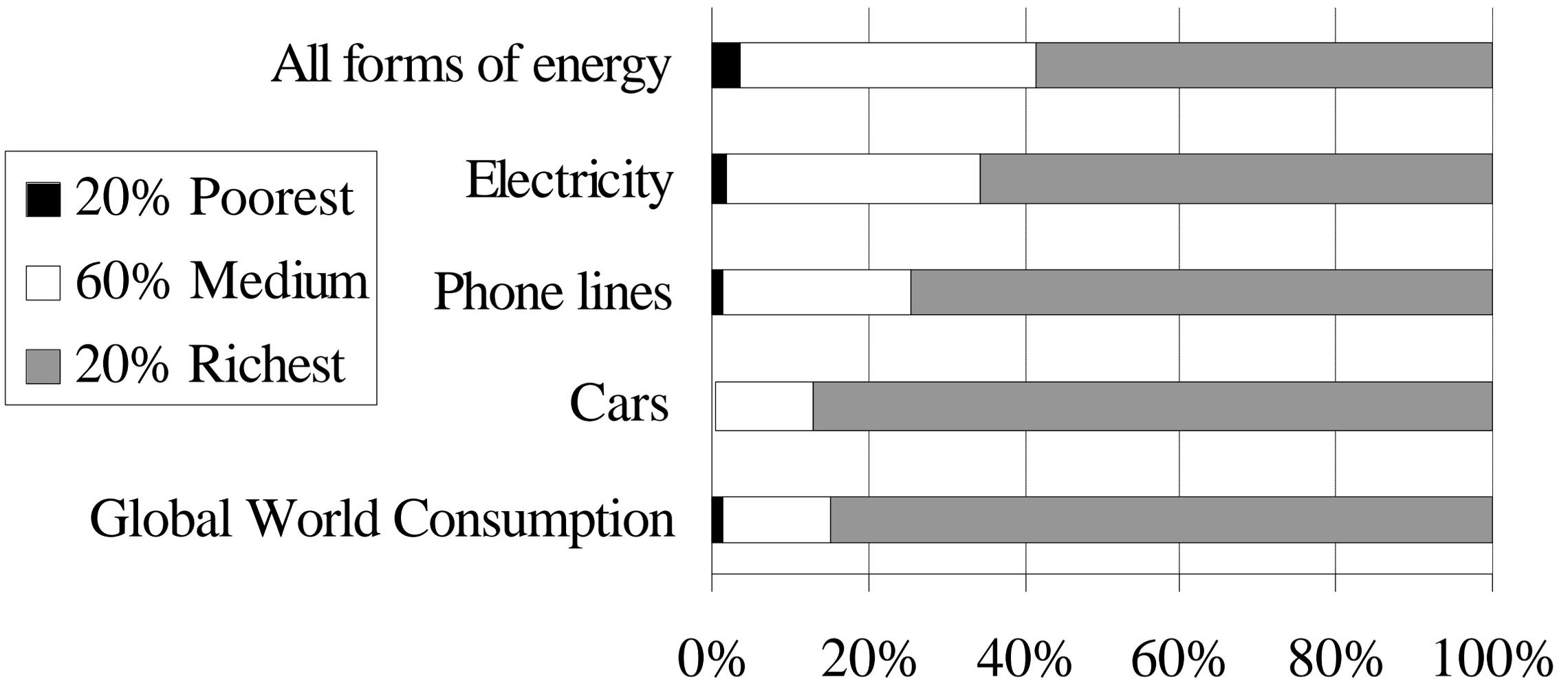
Quelques décennies pour réconcilier l'homme et la biosphère



L'accès aux services énergétiques est trop inégal

World Consumption of Selected Goods and Services

From: UNDP, Human Development Report 1998



La démarche SE*EE*ER

Une solution: la démarche globale de maîtrise de l'énergie

□ **Sobriété énergétique**

- ⇒ Hiérarchiser sur une échelle de valeur et par sage débat démocratique les besoins et les services énergétiques associés, « du vital au criminogène »
- ⇒ Appliquer des régulations adéquates, de l'obligation à l'interdiction en passant par les incitations et par les désincitations économiques

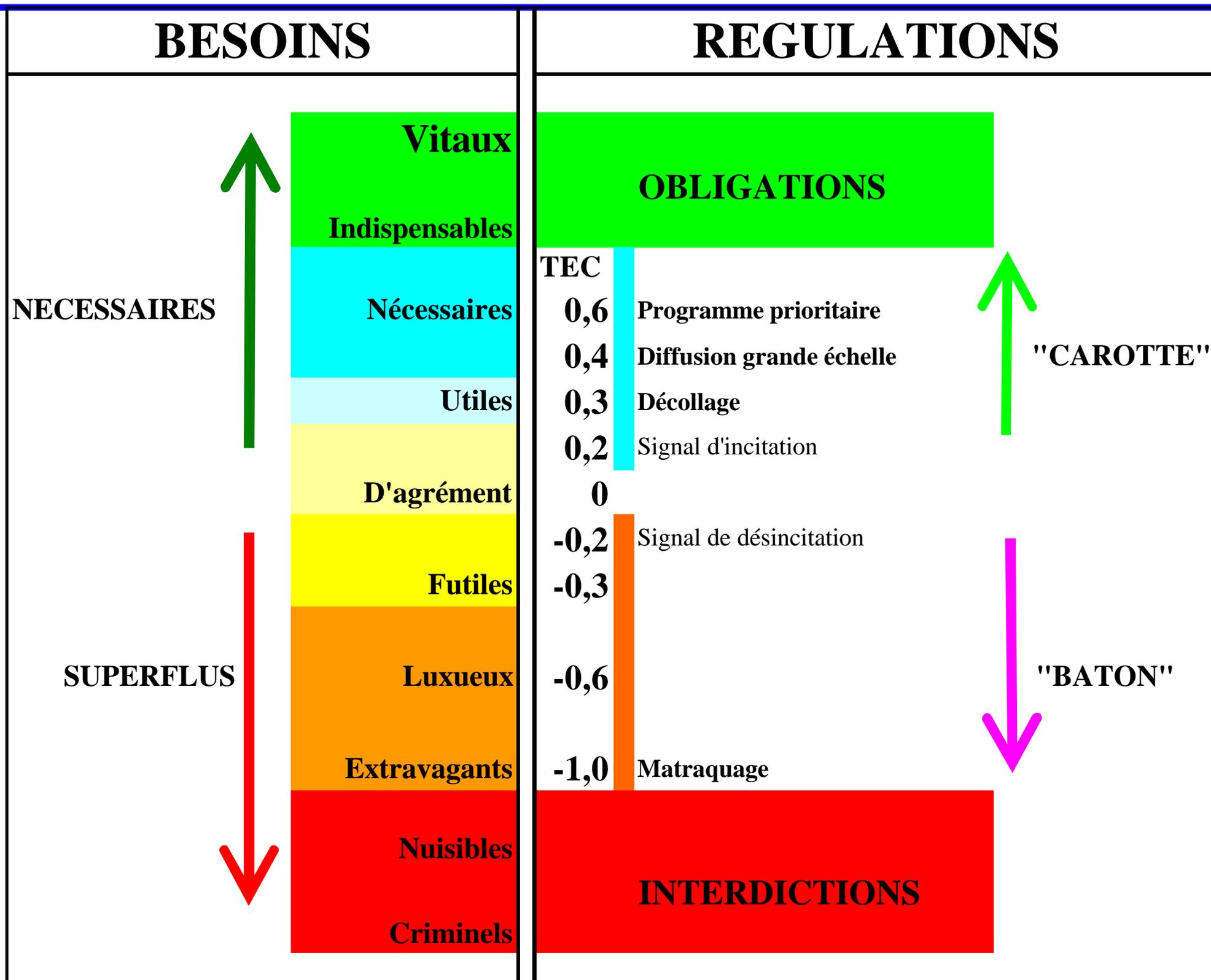
□ **Efficacité énergétique**

- ⇒ Choix appareils, procédés et infrastructures efficaces
- ⇒ Diffusion accélérée dans tous les secteurs

□ **Recours aux SEP compatibles avec le Dev. Dur.**

- ⇒ Ressources naturelles inépuisables: **ER** versus fossiles et min.
- ⇒ Pas d'émissions de Gaz à effet de serre: **ER** versus fossiles
- ⇒ Applicables par tous, pas d'utilisation duale, pas de déchets à longue durée de vie, pas de risques majeurs: **ER** versus nucléaire

La sobriété énergétique: Coupler besoins / Régulations



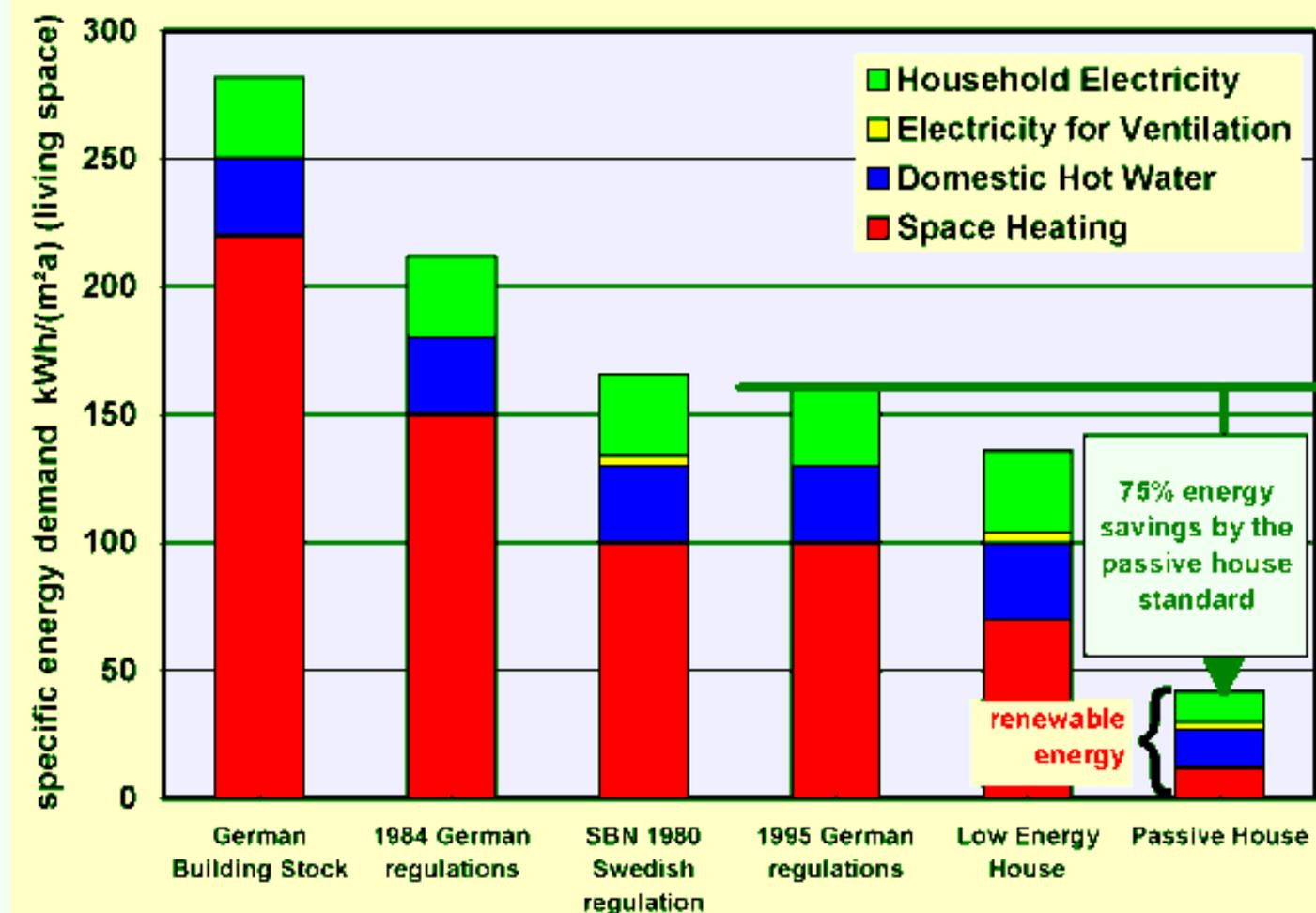
**« Léguer des bienfaits et des rentes
aux générations futures
et pas des fardeaux »**

Compatibilité des ER avec définition stricte du DD

Une définition simple et claire de la démarche de développement durable:
"Léguer des bienfaits et des rentes et pas des fardeaux aux générations futures"

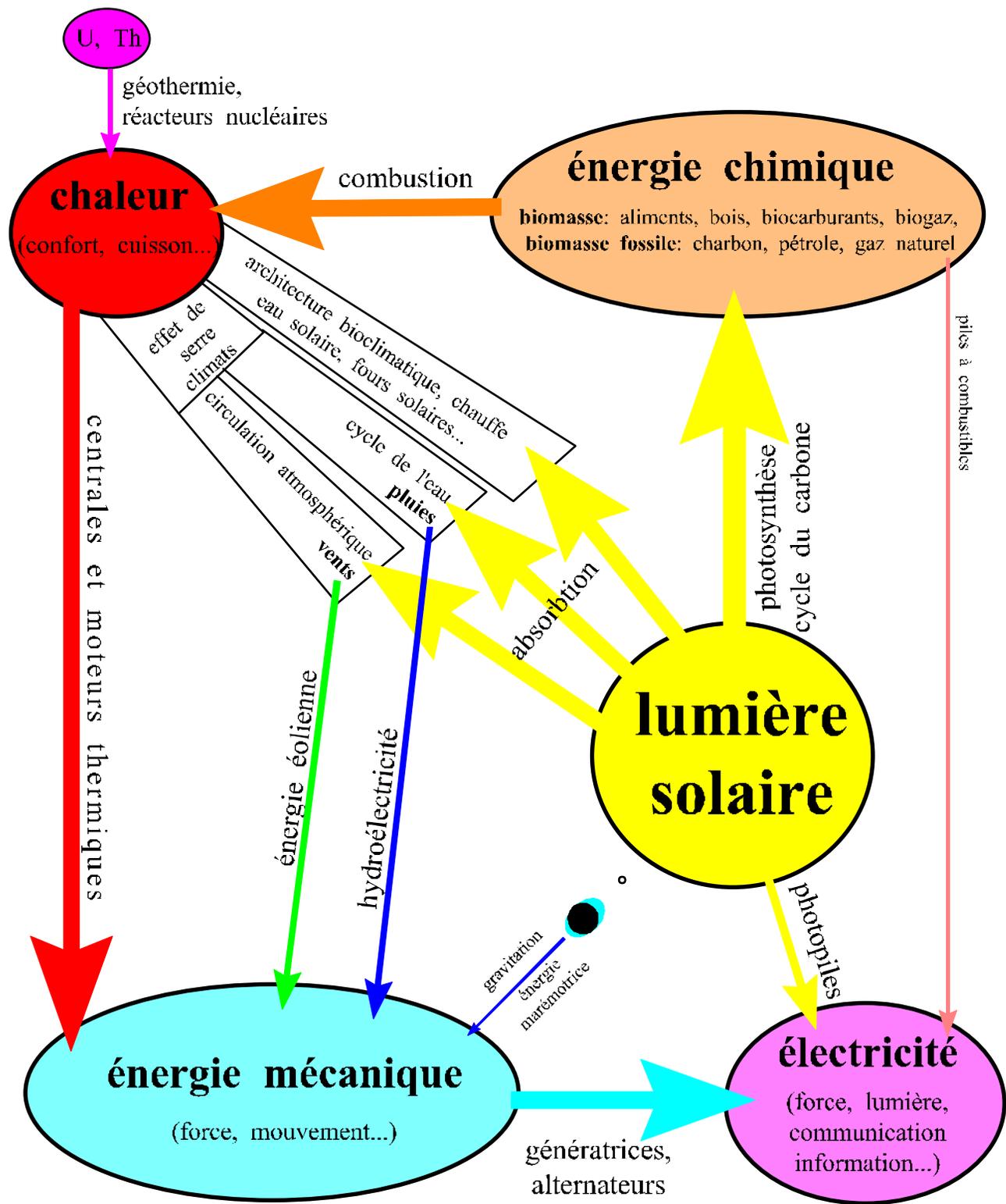
<i>Critères:</i>	Fardeaux 	Bienfaits et Rentes
Environnement	Fossiles: émissions CO2, Sox, Nox, Nucléaire: déchets, risques majeurs	ER: pas de combustion ou bilan CO2 équilibré pour biomasse, déchets recyclés
Social	Conflits accès pétrole gaz, risque de prolifération nucléaire	ER: décentralisées, réduction des tensions géopolitiques, création emplois locaux
Economique	Fardeaux CCS, gestion des déchets et du démantèlements des inst. nucléaires	ER: rente hydroélectrique puis éolienne, solaire... bienfaits bâtiments sans charges

Exemple de rupture SE * EE *ER: les bâtiments passifs



**Le potentiel des énergies
renouvelables
Et leurs avantages
environnementaux**

Le soleil, principale source d'énergie pour l'homme et la biosphère



L'homme, les renouvelables et le pétrole

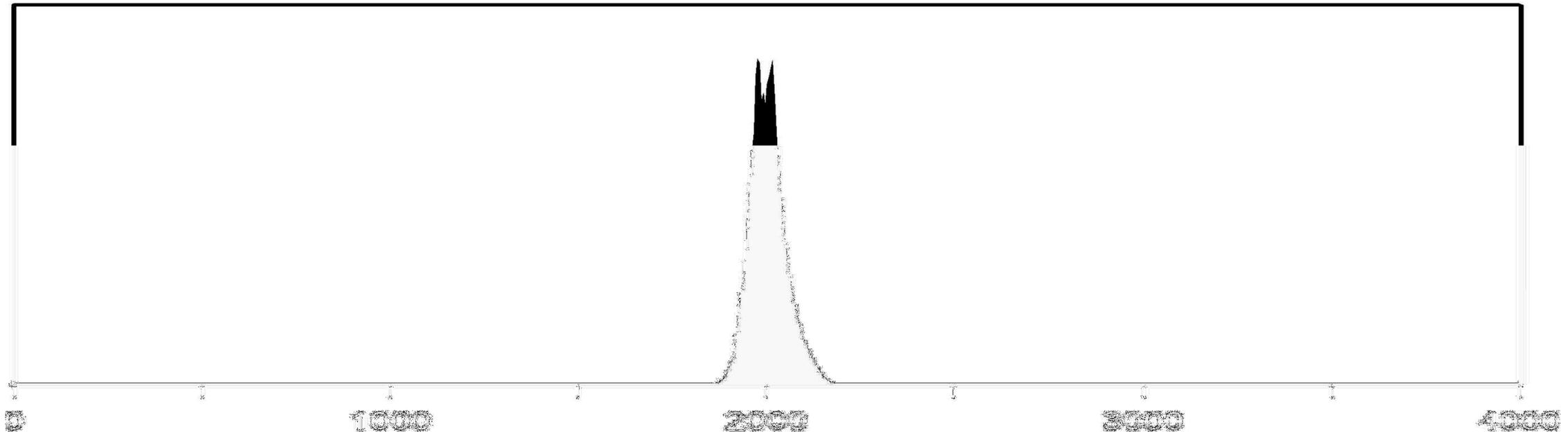
Biomasse

Energie hydraulique

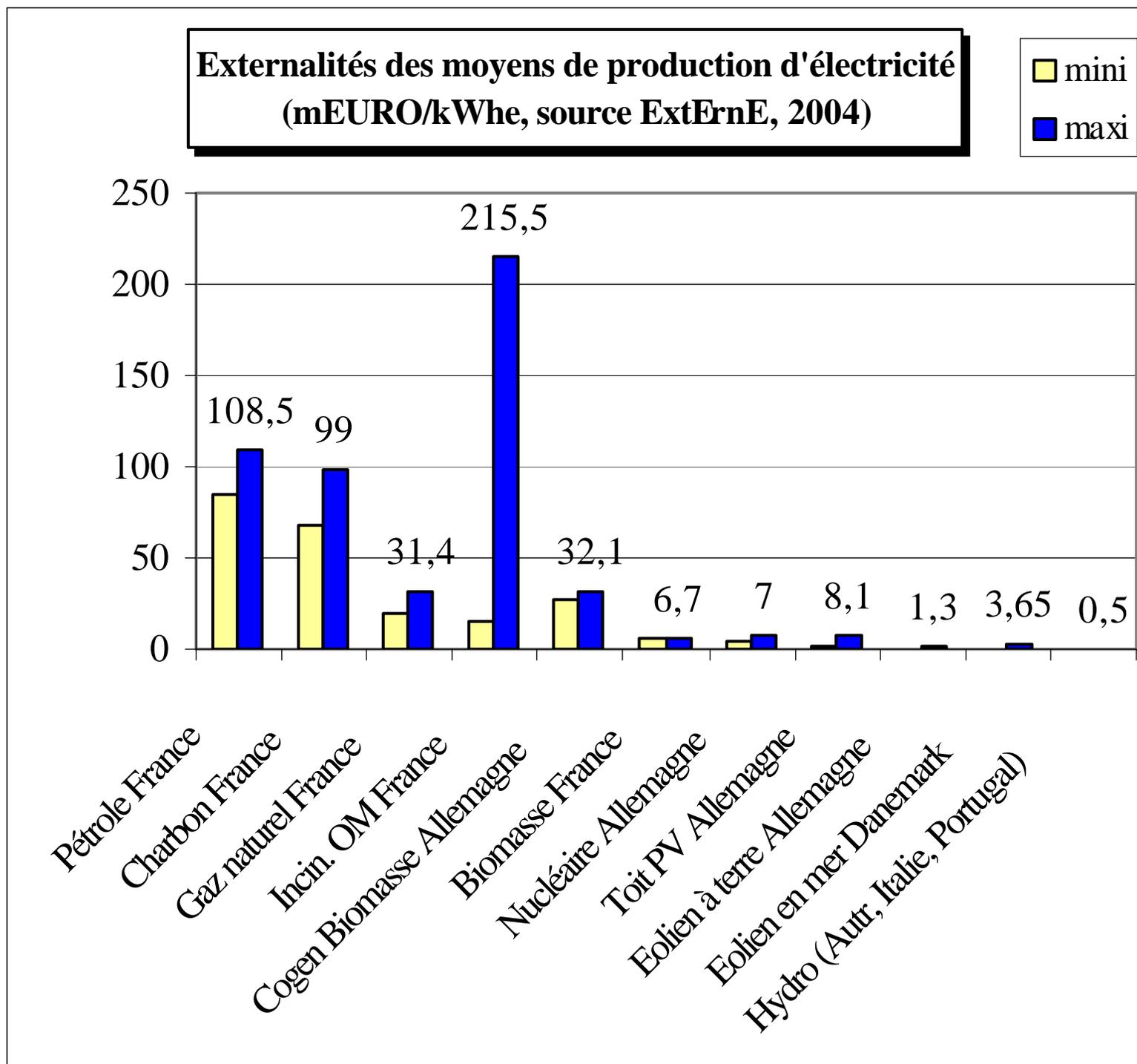
Hydroélectricité

Energie éolienne

Energie solaire directe



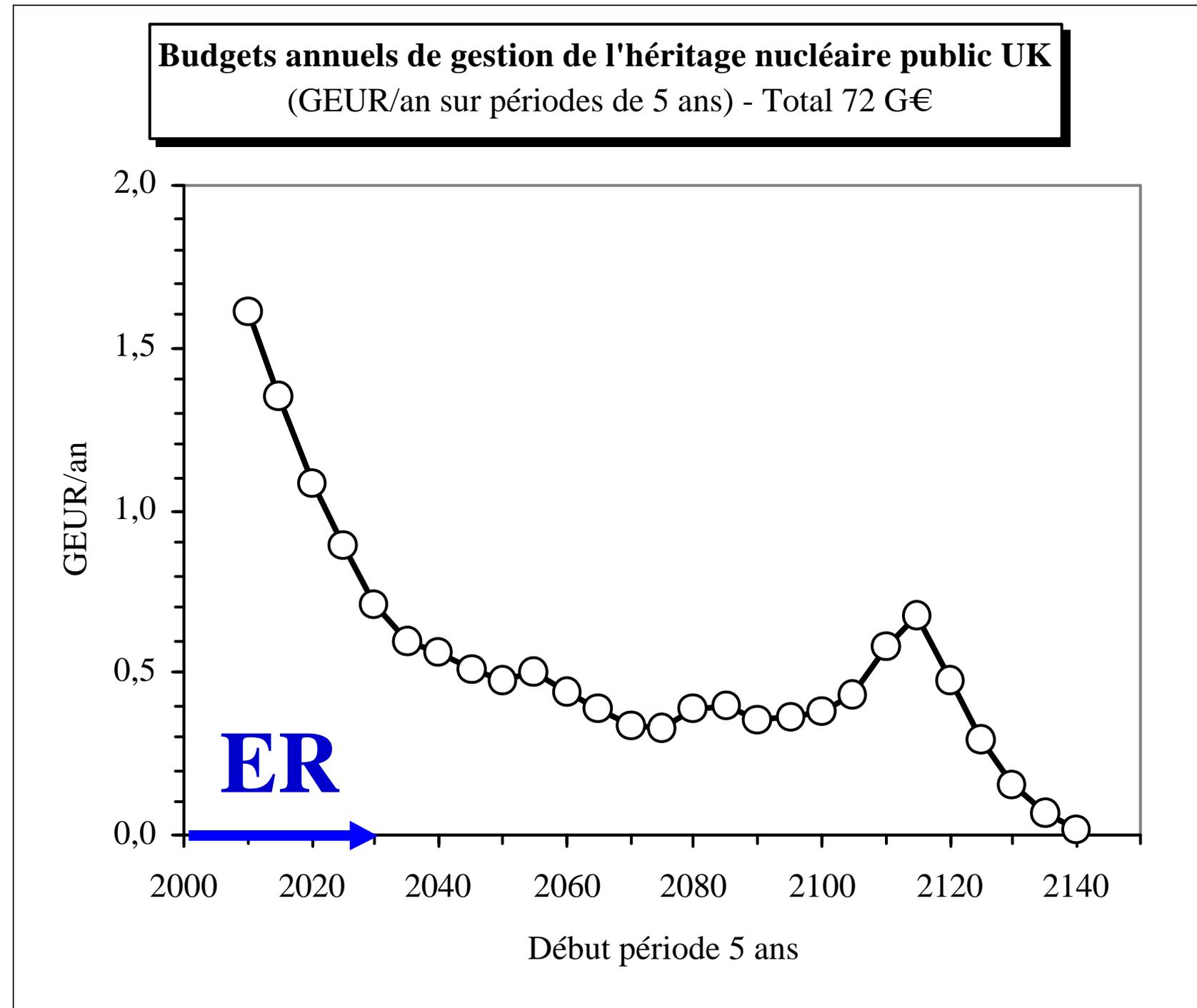
Les externalités pour la production d'électricité



Critère intergénérationnel du développement durable: « Léguer des bienfaits et des rentes et pas des fardeaux »

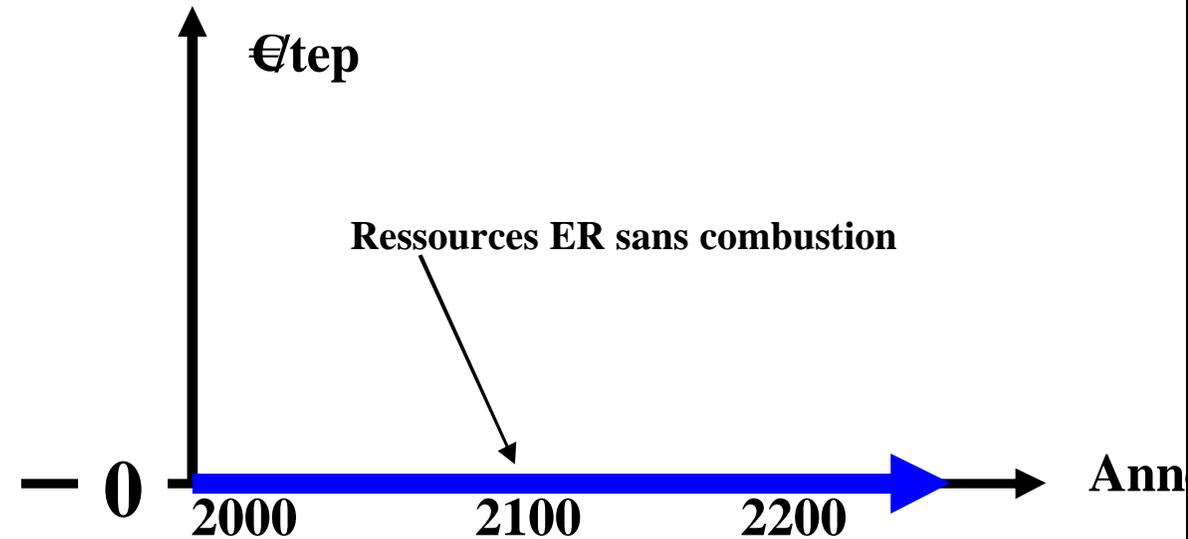
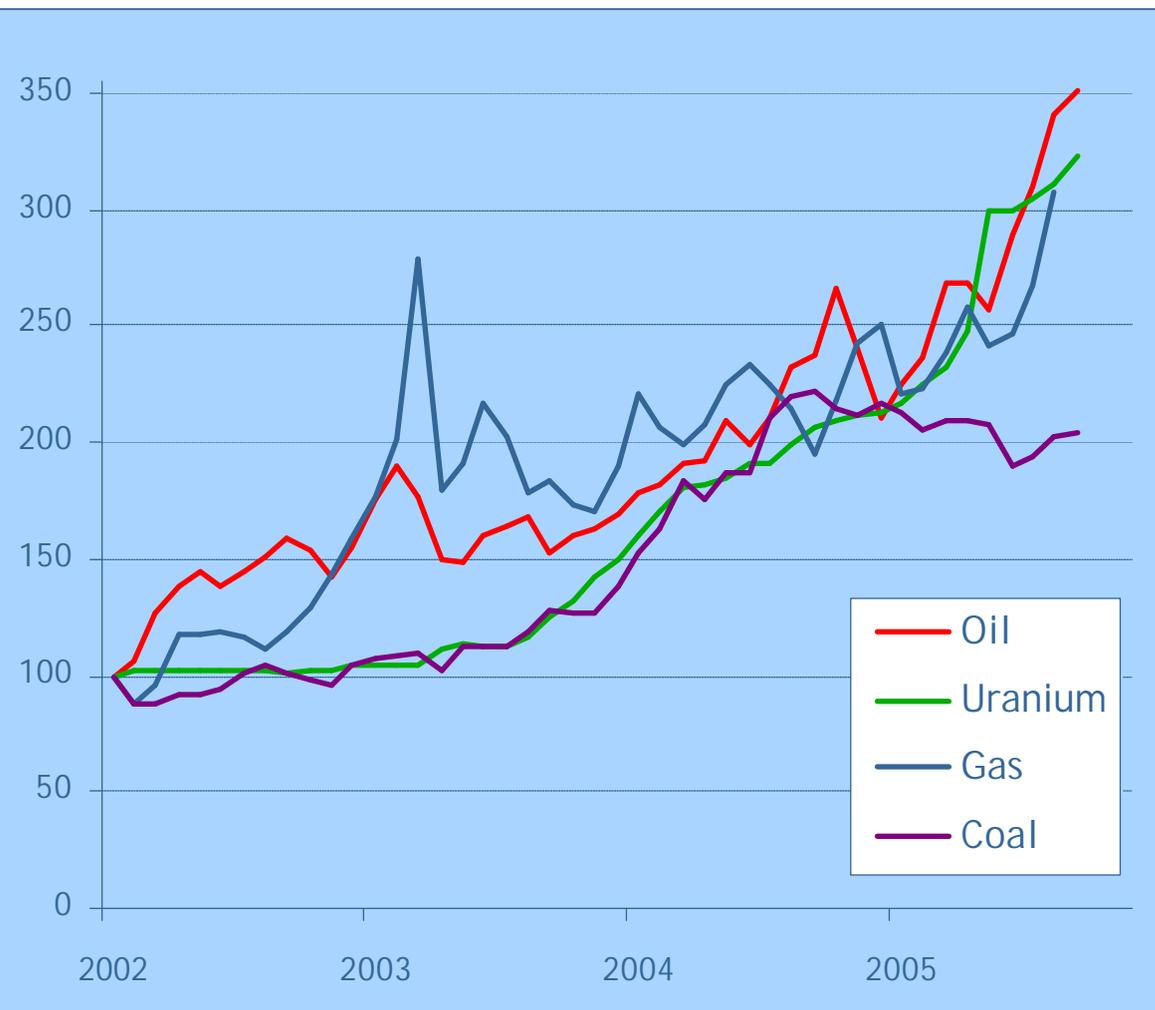
Bienfaits et rentes ER:

Hydro, puis :
éolien,
Solaire,
Bâtiments passifs...



Source UK: <http://www.dti.gov.uk/energy/nuclear/environment/liabilities/index.shtml>

Première approche économique des ER



Source: **A. ZERVOS, GWEC,**
«Wind's role in the global energy market »
EWEC 2006, Athènes

Une première illustration: L'énergie éolienne

L'éolien: une « succes-story » inattendue mais logique

Les éoliennes deviennent rapidement un élément du patrimoine



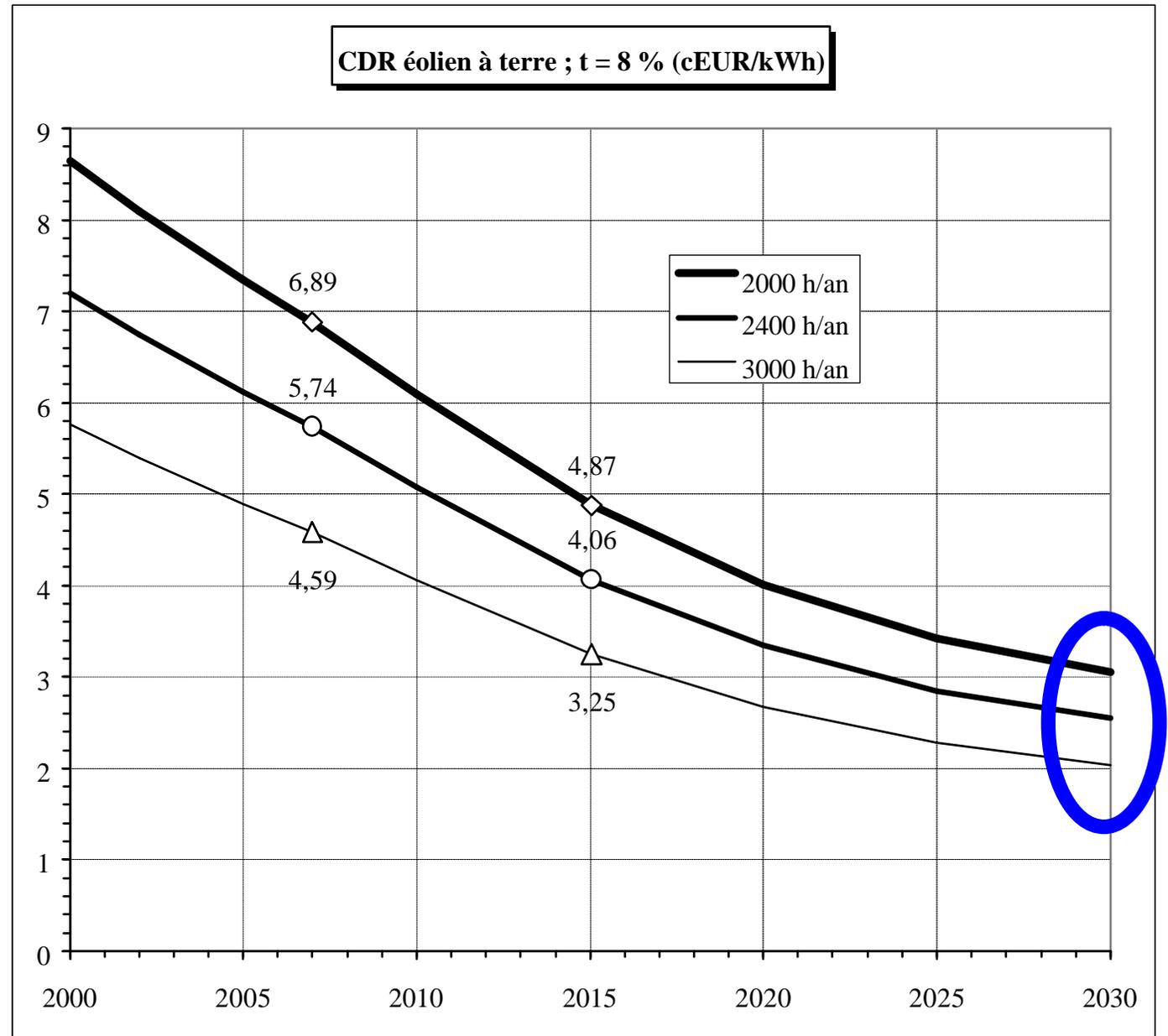
Goulien (Cegelec, Bretagne)
Source: www.suivi-eolien.com



Famille Stratman: 338 ans d'exploitation forestière.
Dernières plantations: E66 1,8 MW, mât 114 m, 1000
hêtres en compensation de 80 conifères sur 1000 m²
Source: Enercon, Windblatt 2003

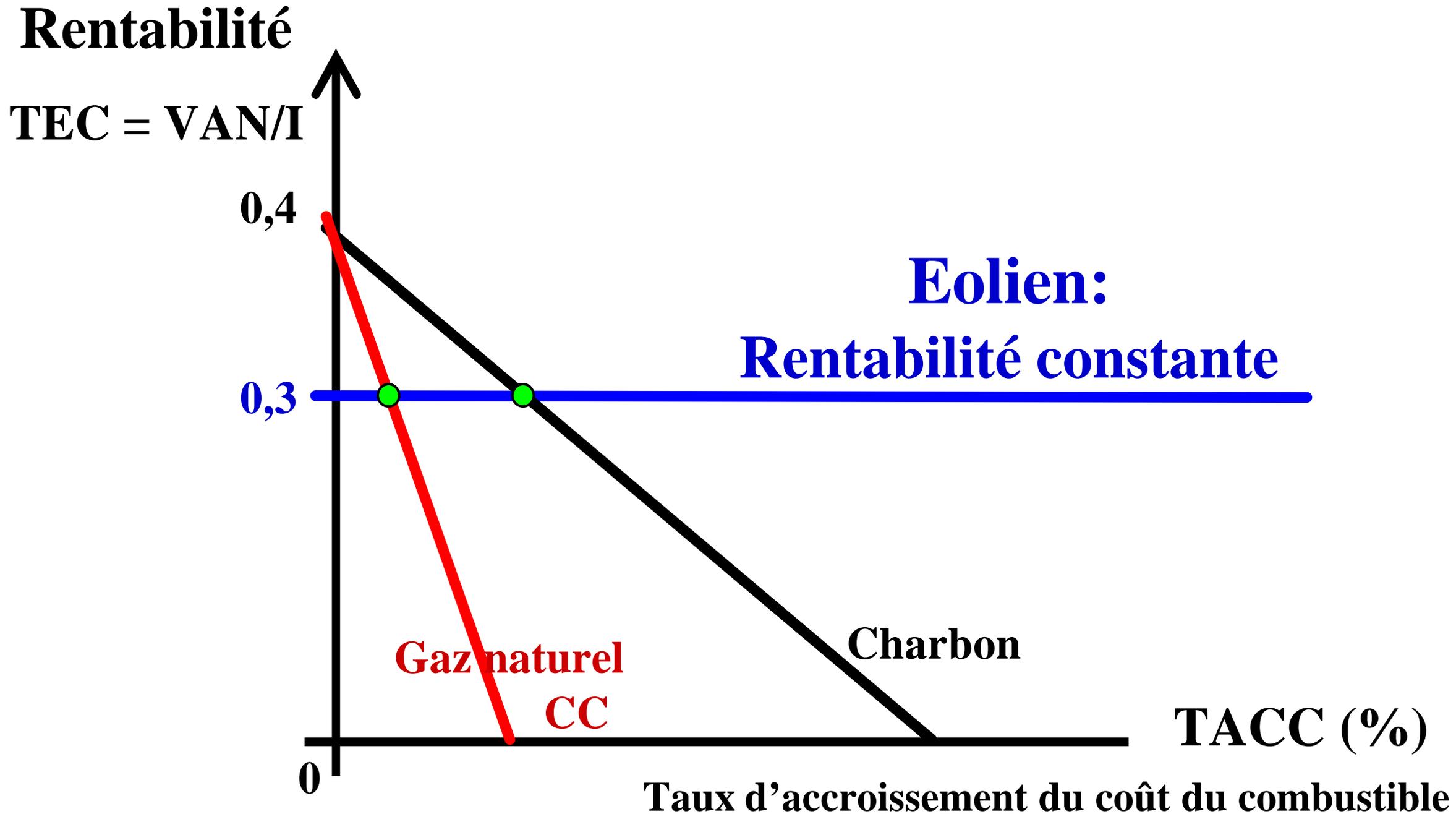
Une prospective du coût du kWh éolien

- ❑ **Coût de référence 2002 du kWh éolien sur réseau**
- ❑ **Division coût kWh éolien par trois en une génération (1974 - 2030: par 10 en moins de deux générations)**
- ❑ **« Freinage » baisses par hausses acier, cuivre depuis 2005**



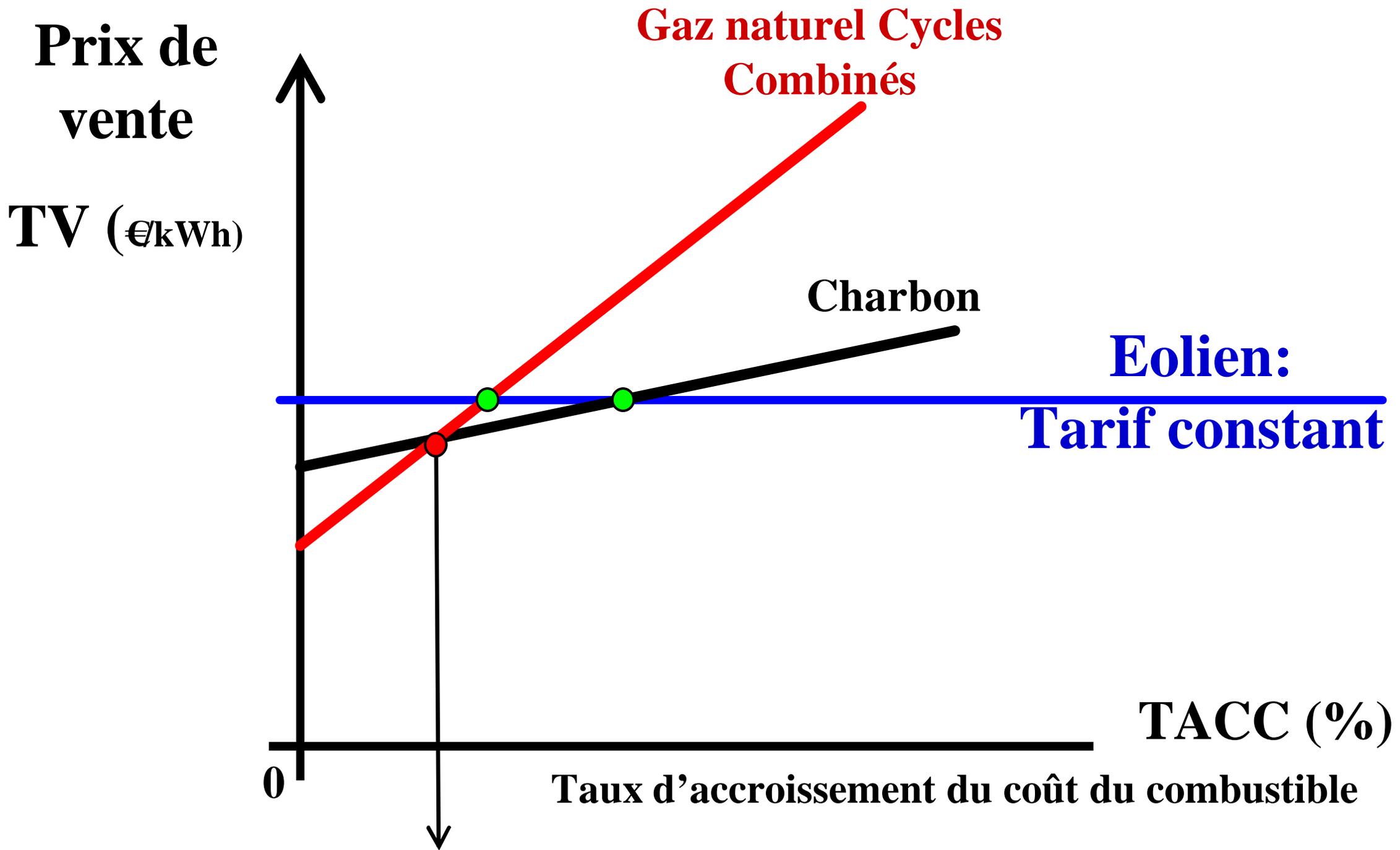
Source: B. Chabot, colloque ADEME-CLAROM « L'énergie éolienne en mer », IFP, 2002

Impact crise énergétique (1): Prix de marché fixe



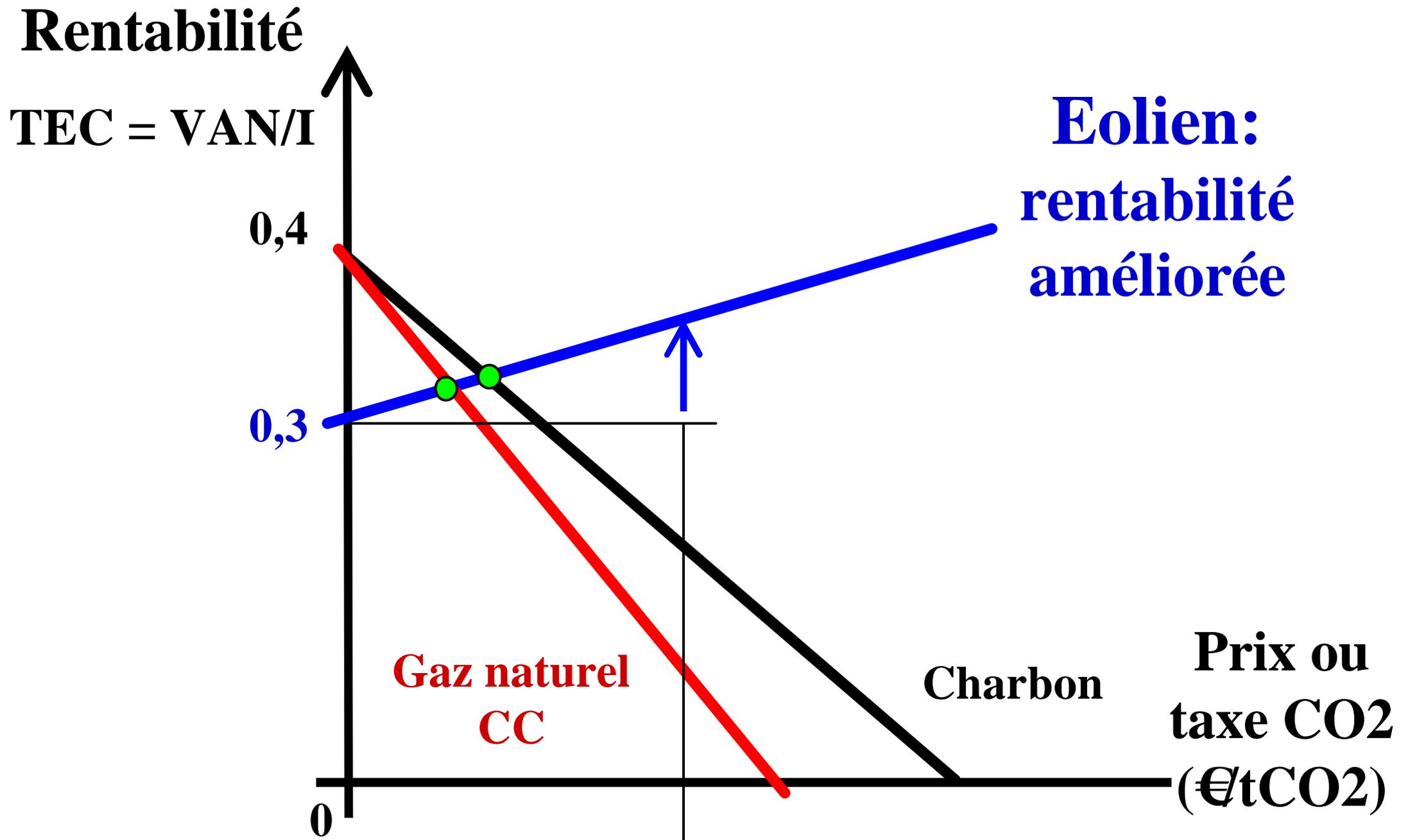
Basculement GNCC à Charbon → accroissement émissions CO2 !

Impact crise énergie (2): rentabilité constante



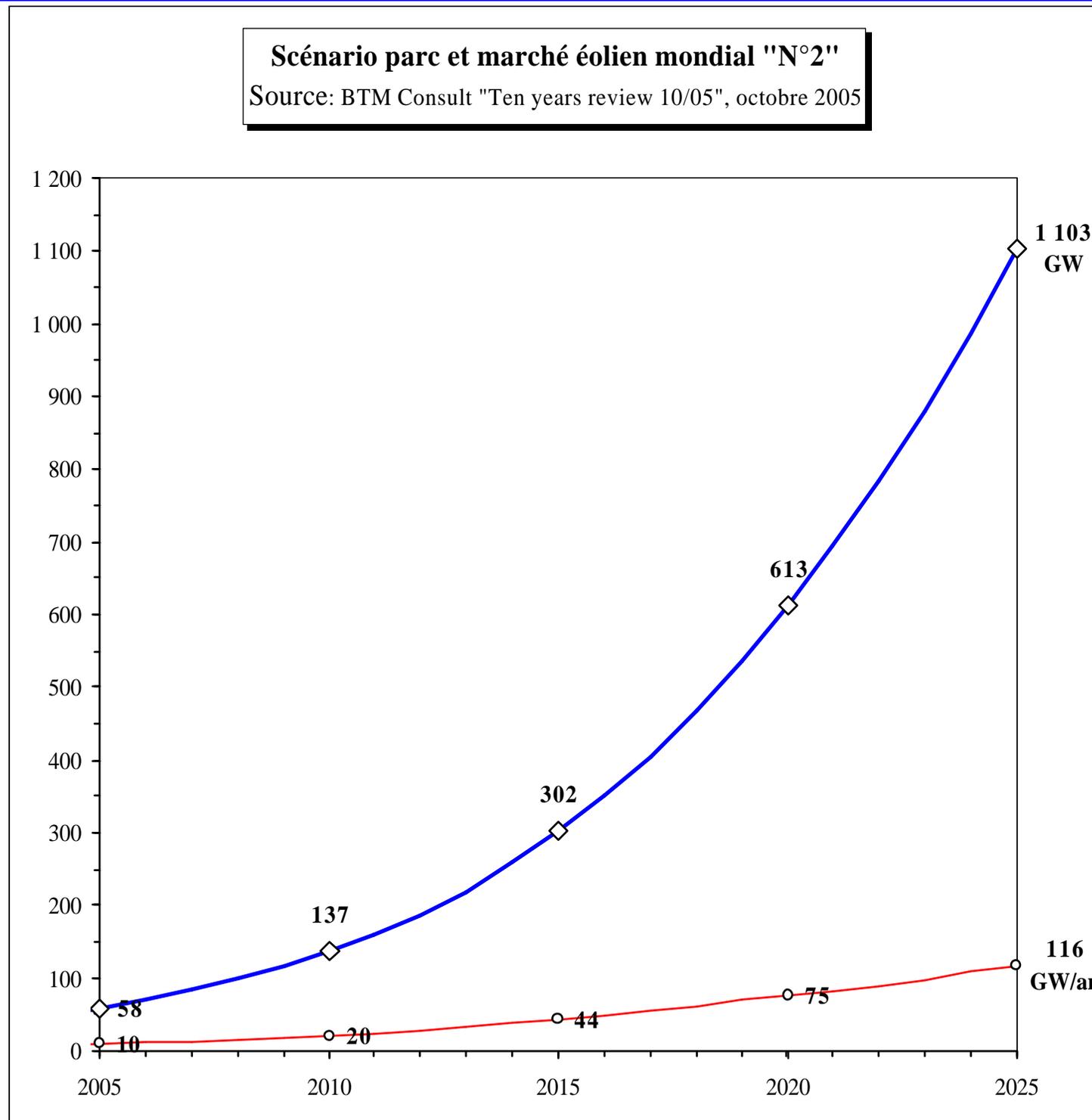
Basculement GNCC vers charbon → Augmentation émissions CO2 !

Impact des taxes sur CO2 émis et des crédits carbone



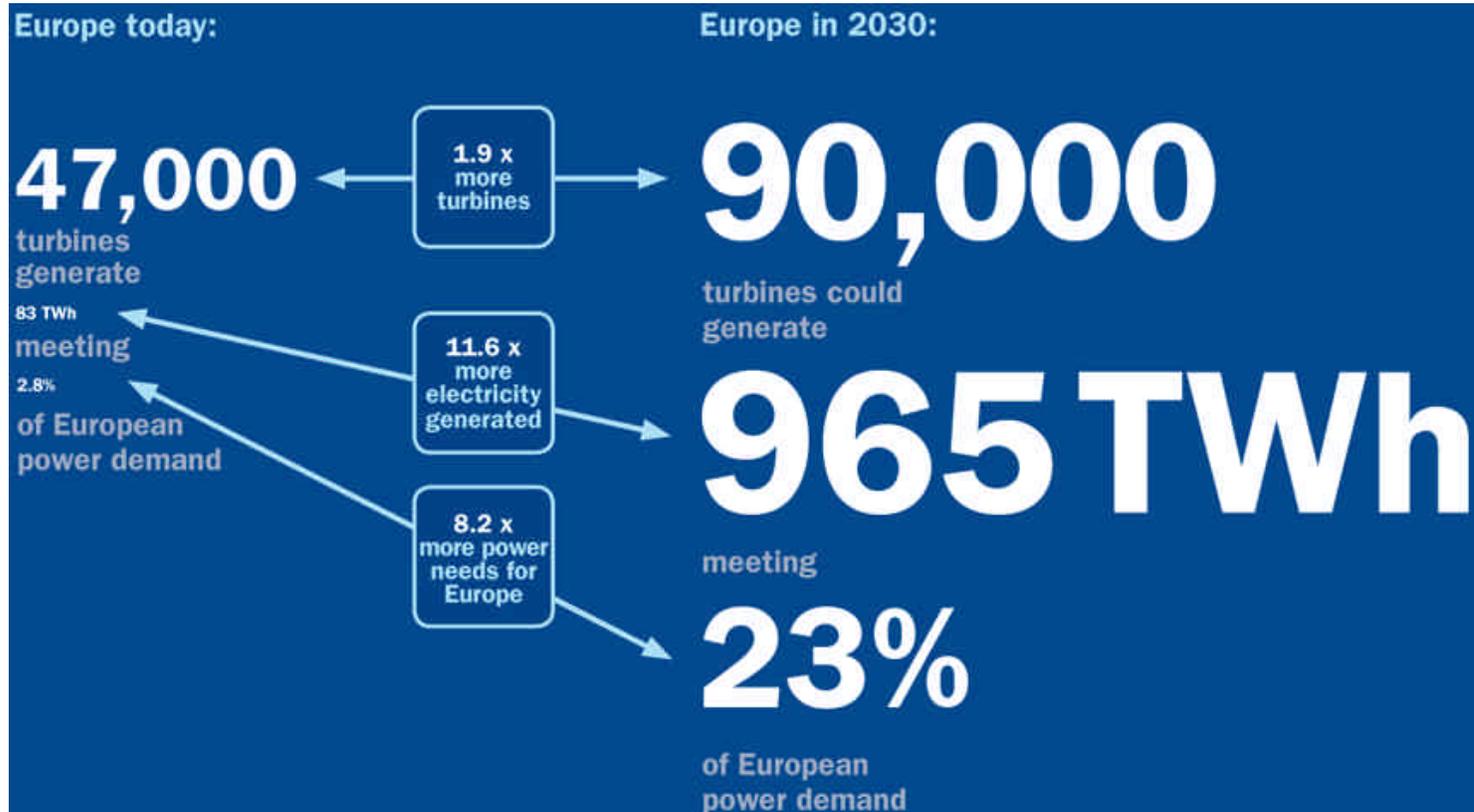
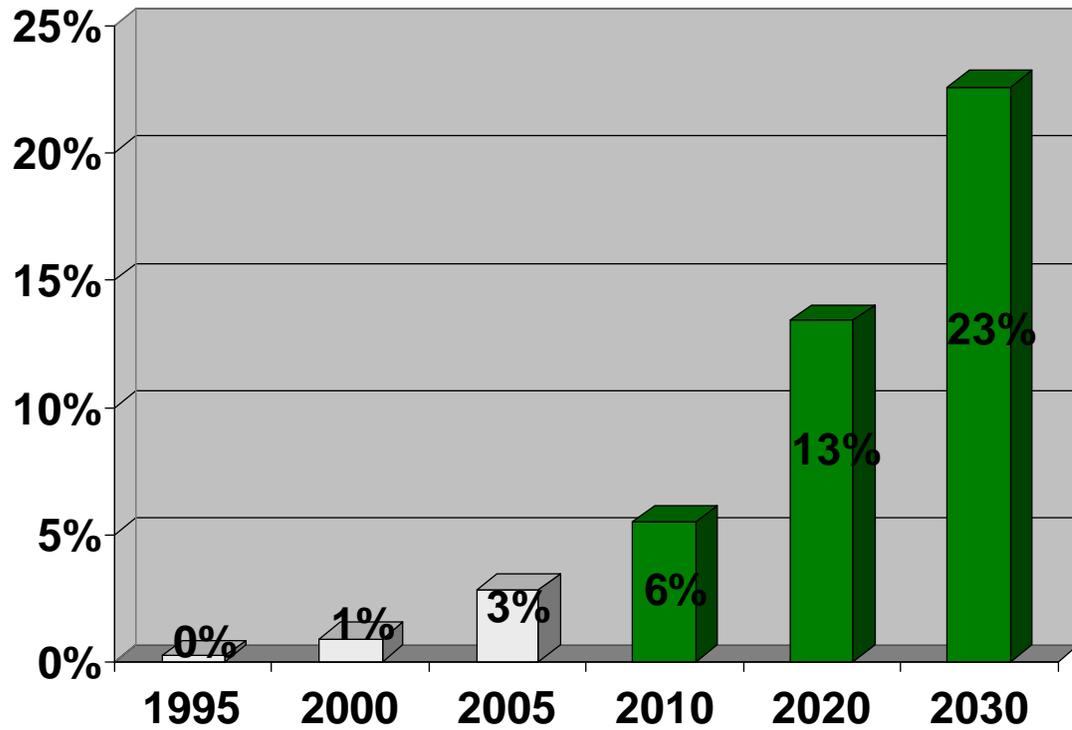
Une taxe CO2 identique → choix charbon → accr. Émissions CO2 !

Premier scénario éolien avec prix pétrole 40 à 50 \$/baril



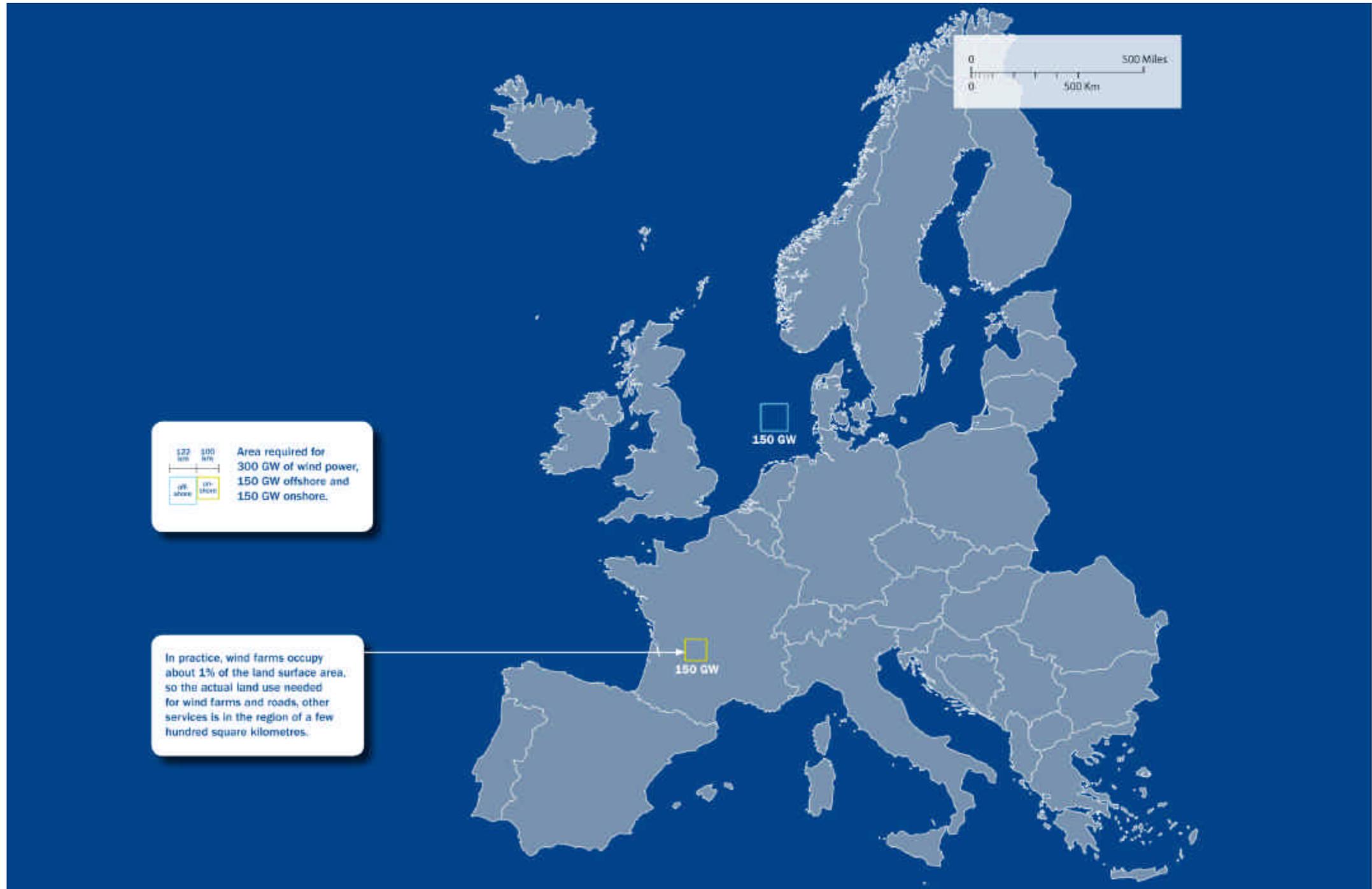
Source : synthèse publique "10 years reviews", BTM Consult, 2005

L'éolien en UE27 : vers 6 % puis 13 puis 23 % d'électricité

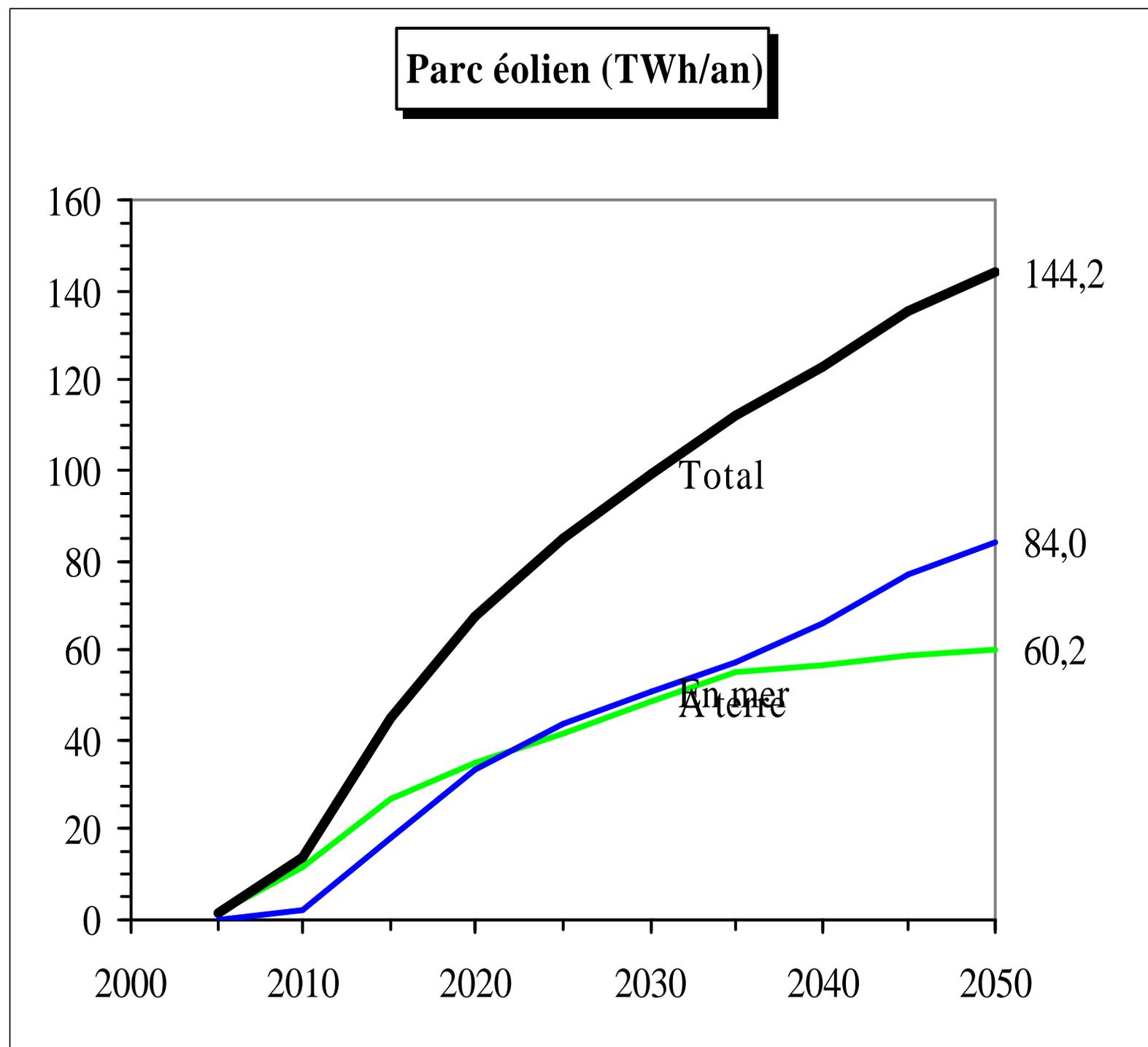


La stratégie EWEA 2030: parts terre et mer requises

- 300 GW en 2030, 50 % à terre, 965 TWh/an, 23 % électricité UE



Un scénario éolien pour la France dans objectif « F4 »

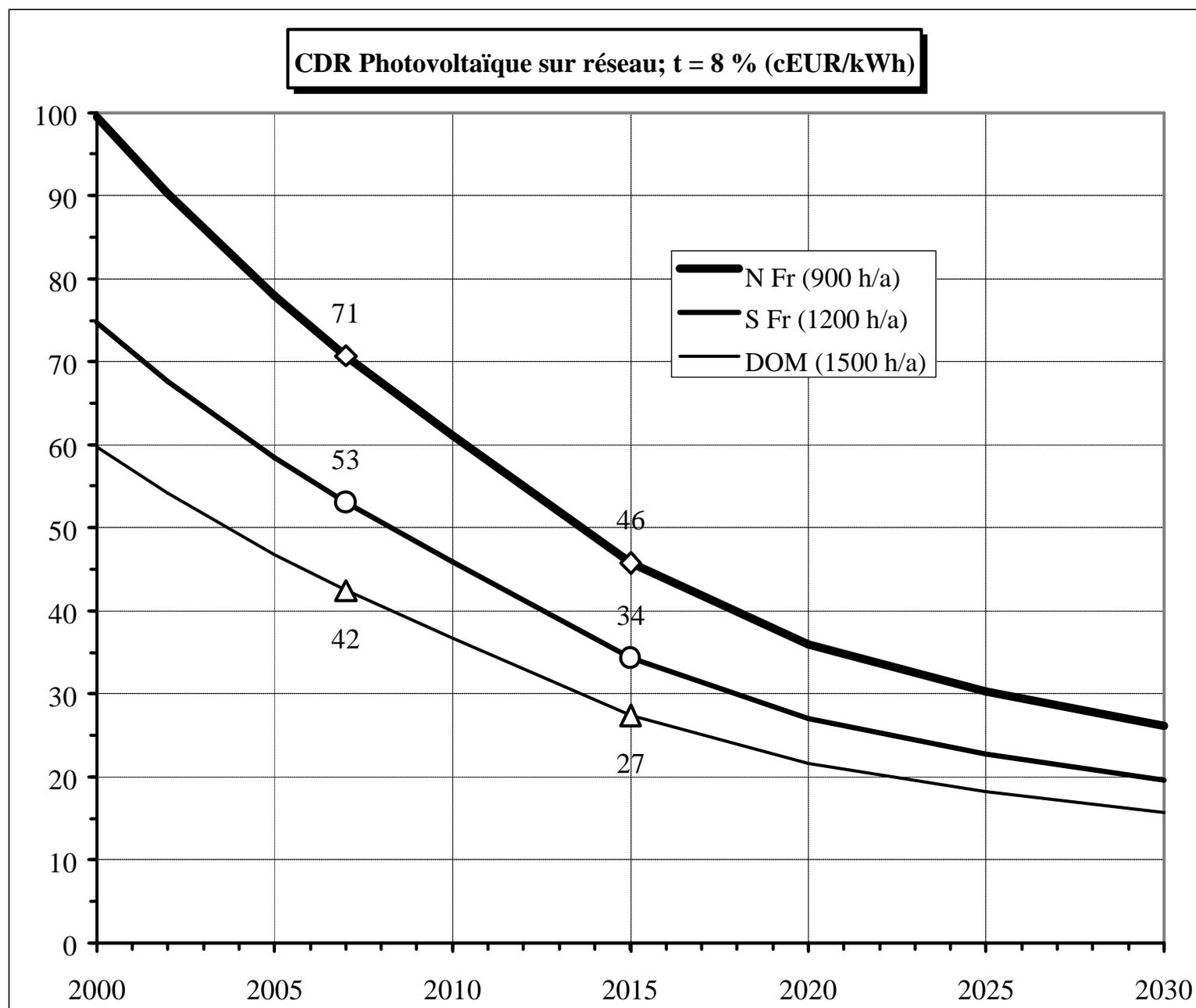


Source: B. Chabot, ADEME-DER, étude scénario Facteur 4, 2006

**Une deuxième illustration:
L'électricité
photovoltaïque**

PV: De l'électricité chez soi, sans coûts de transport & Distribution

Côût du kWh de "téléfusion" et de fusion par TOKAMAKs



Modules photovoltaïques(Imerys toiture)



CDR optimiste

fusion De-Tr

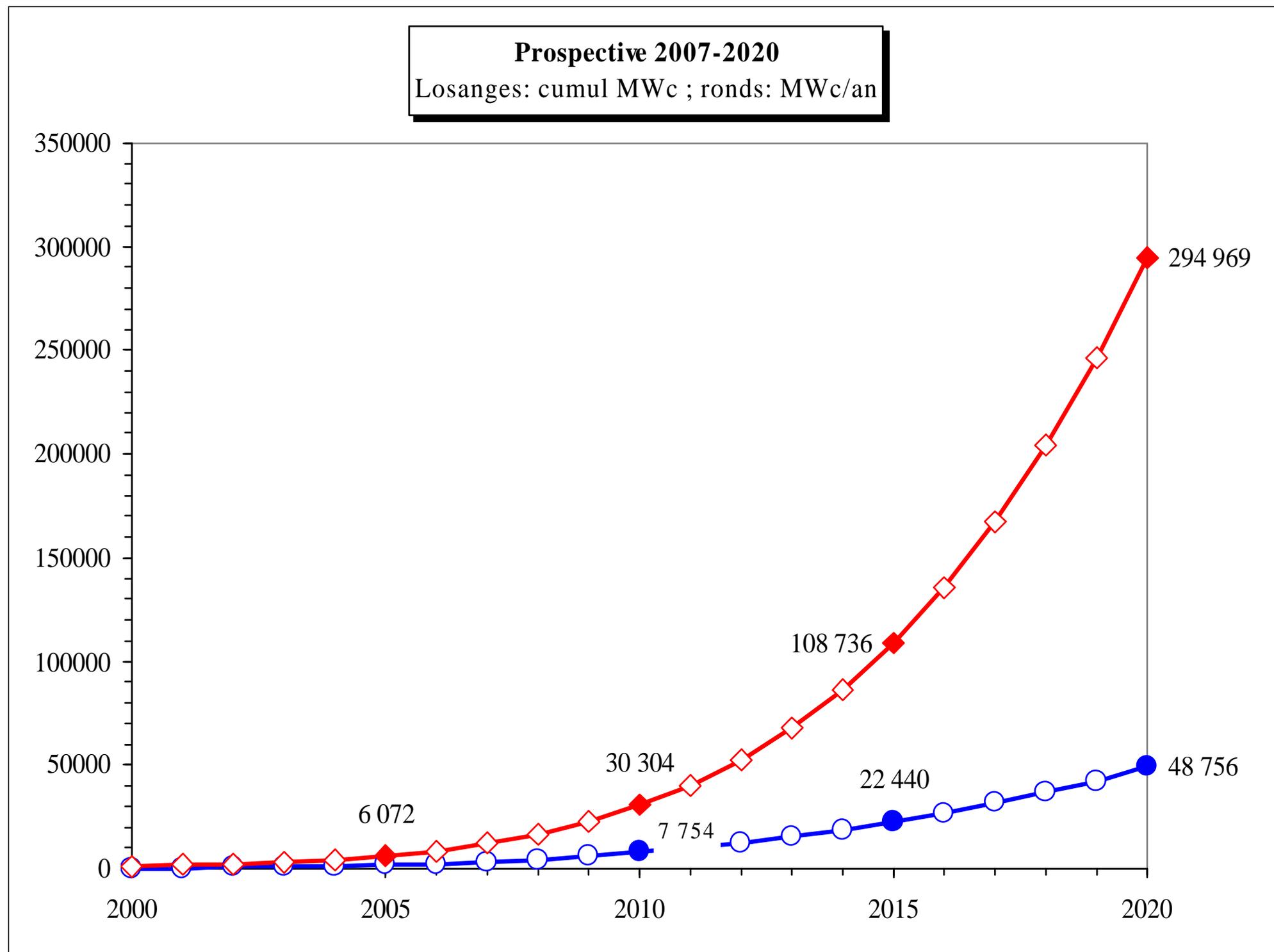
Critère RAS versus RANAP: hautes techno & artisans

Un convertisseur PV de téléfusion domestique avant et après montage: état de l'art

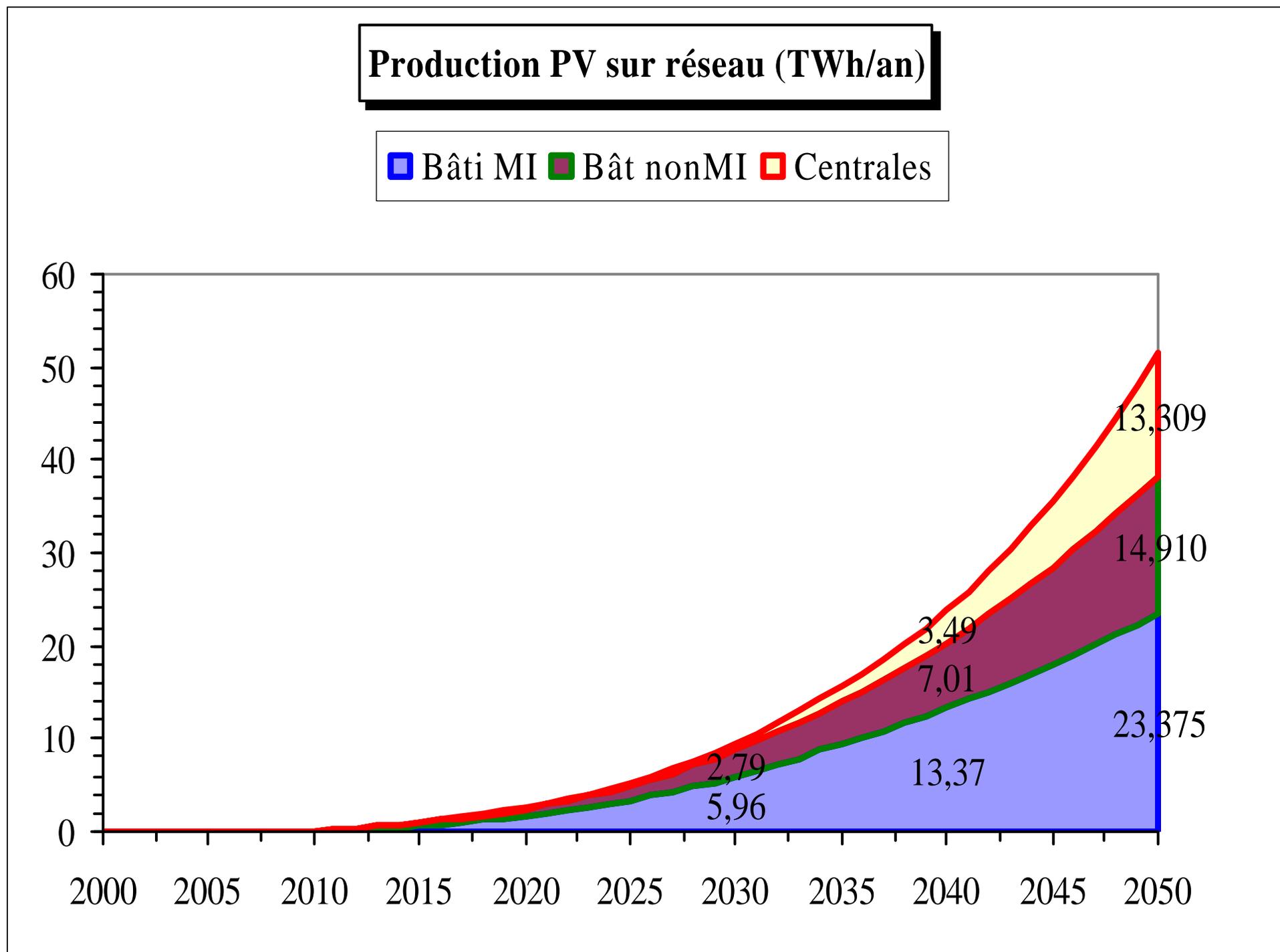


German solar roof tile manufacturer Pfleiderer was awarded the German Design Prize 2002 for its product.

Scénario mondial Photovoltaïque 2005-2020



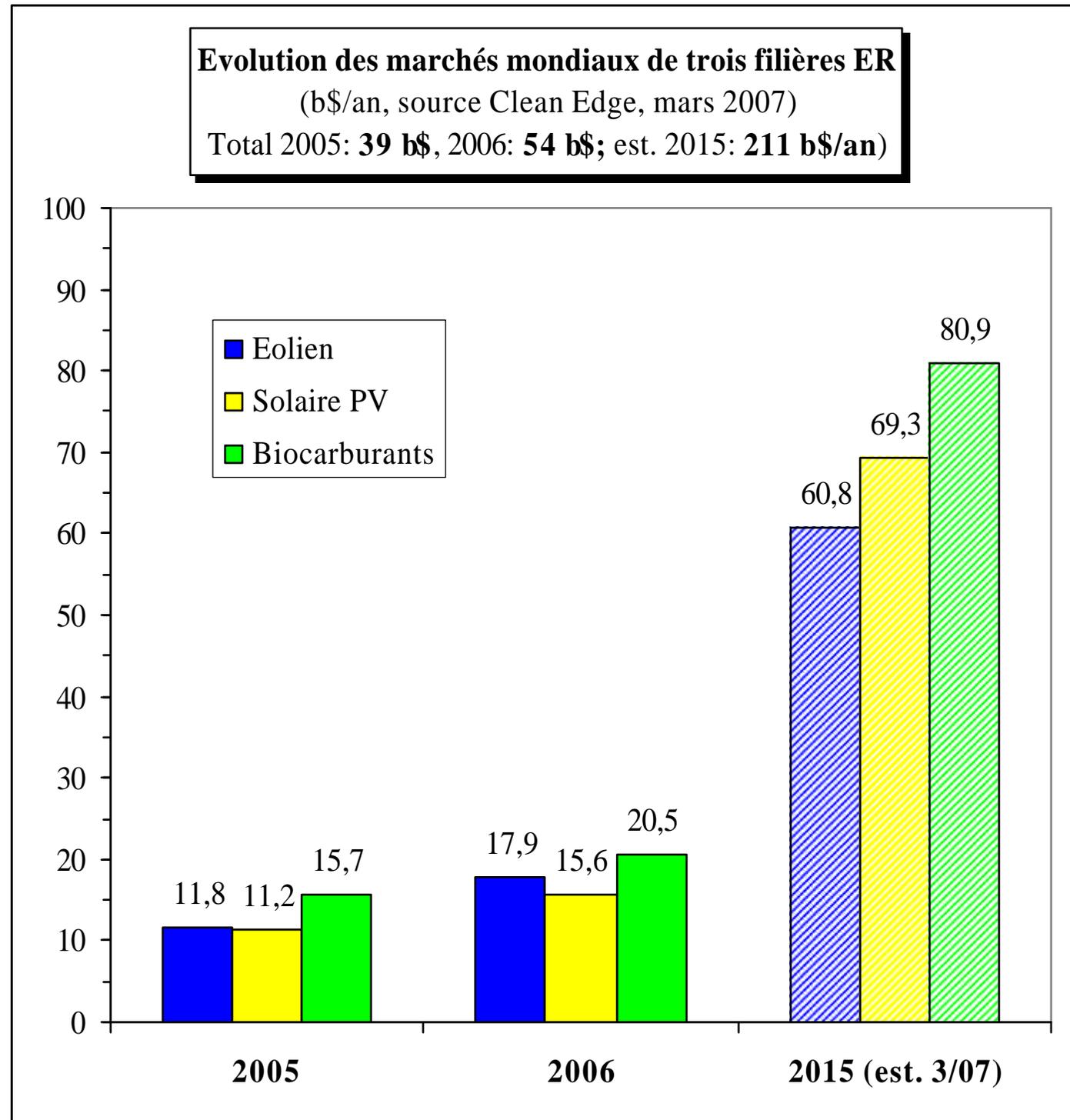
Un scénario PV pour la France dans objectif « F4 »



Source: B. Chabot, ADEME-DER, étude scénario Facteur 4, 2006

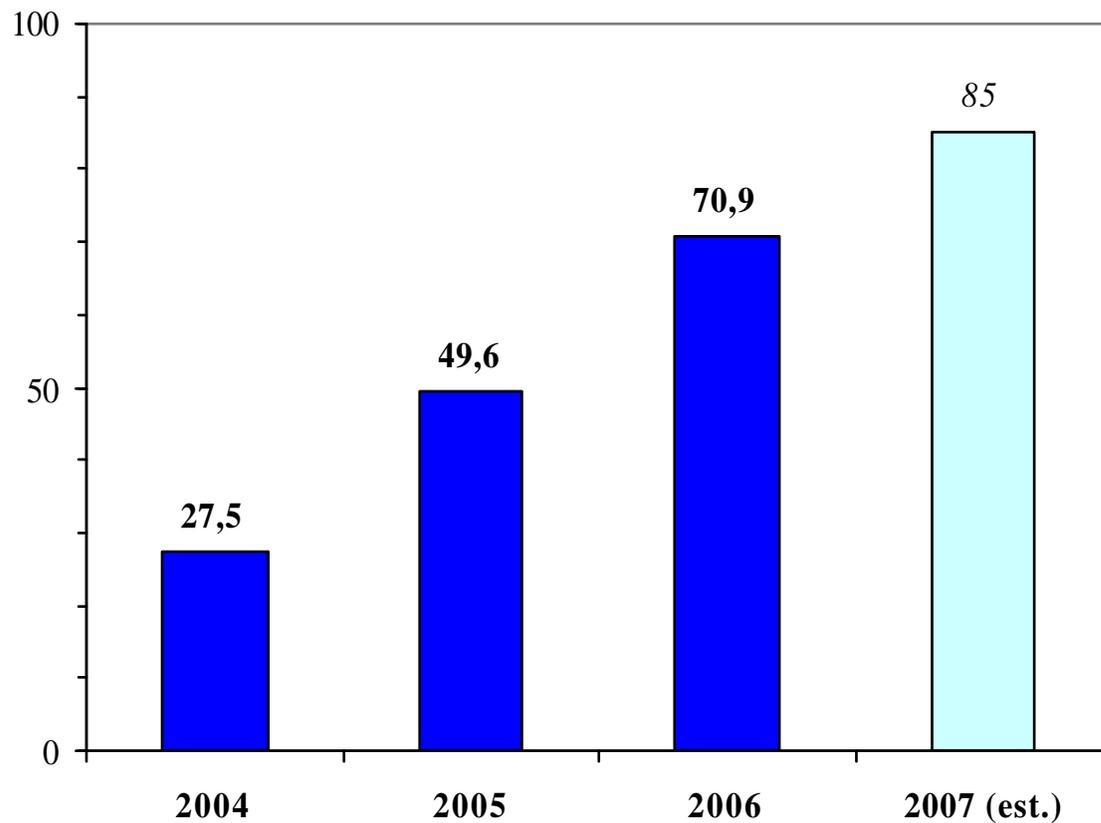
L'intégration future Des énergies renouvelables

Le décollage économique du secteur des ER

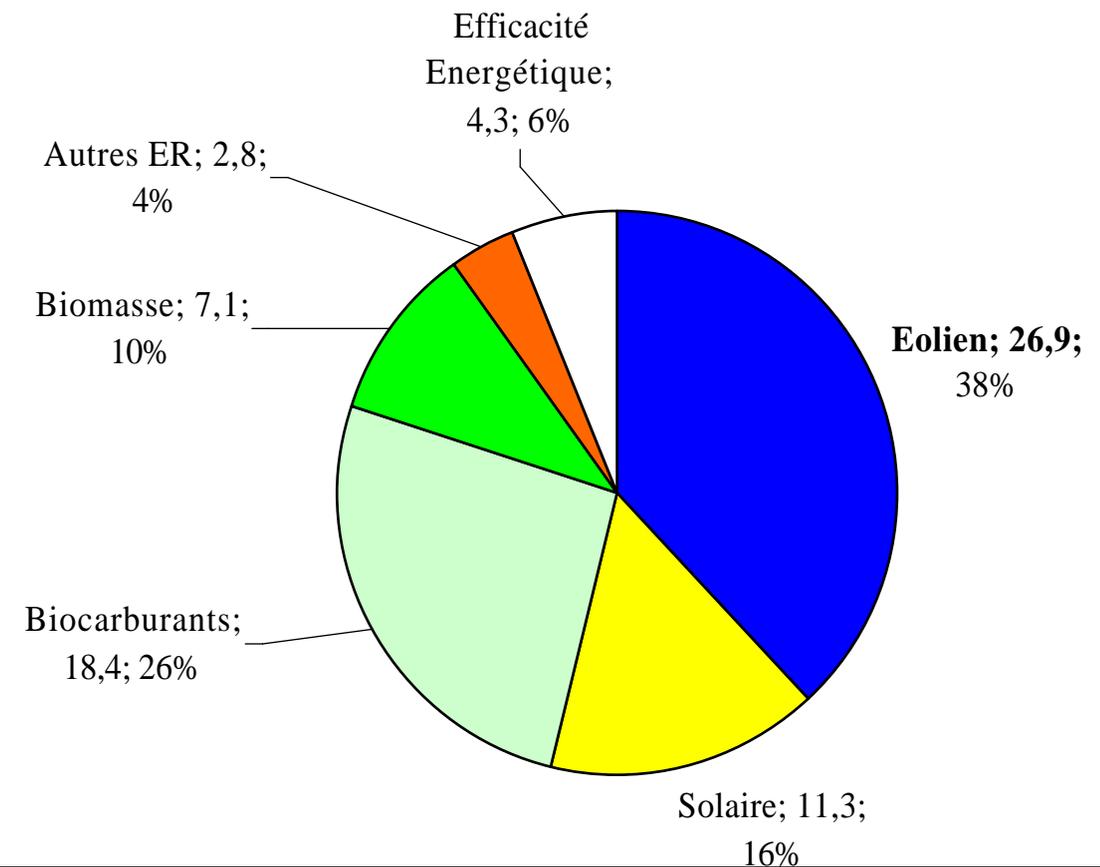


Le décollage financier des ER: anticipation des investisseurs

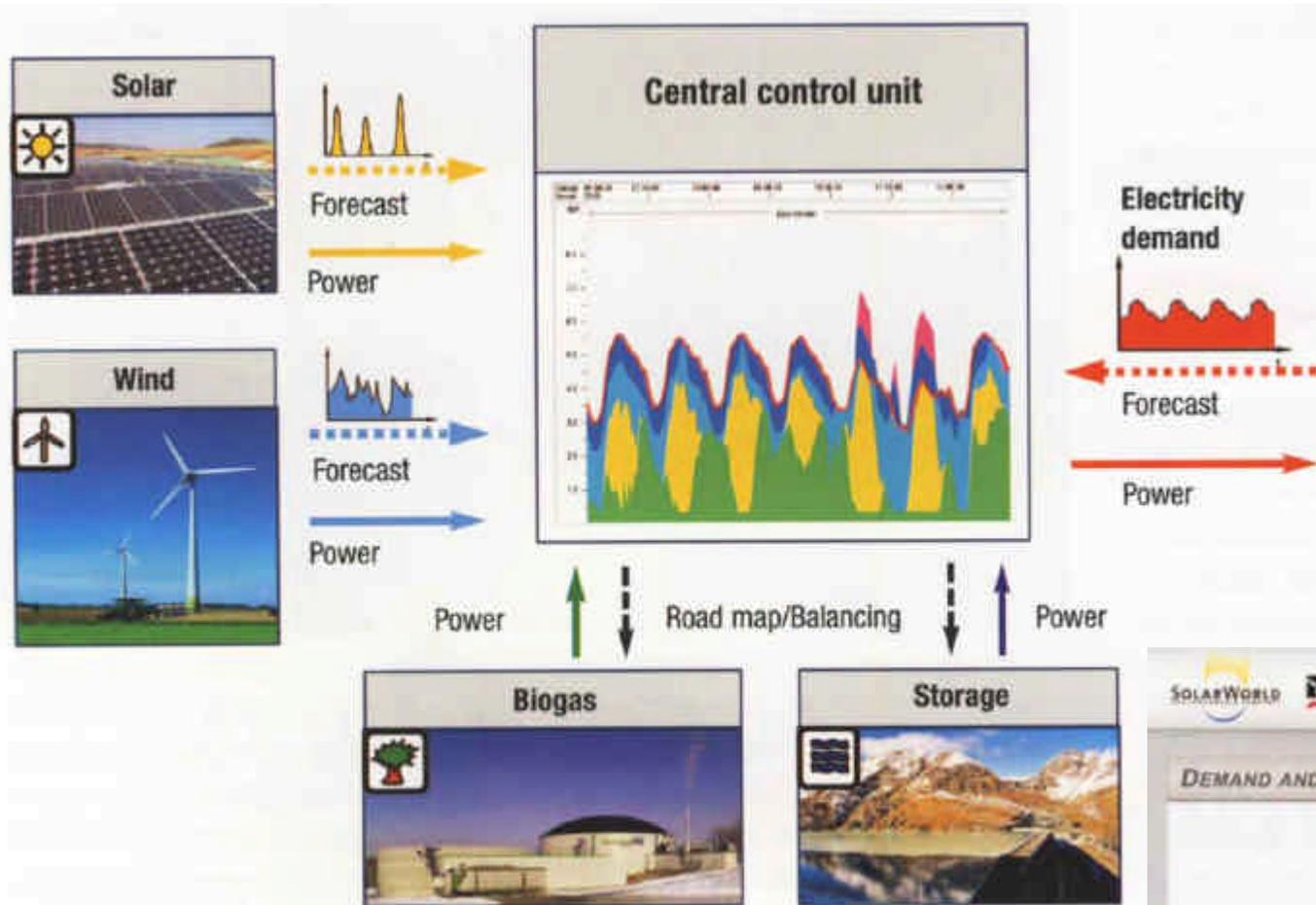
Investissements mondiaux en ER & EE en 2007 (b\$)
Source: UNEP & New Energy Finance, juin 2007
(hors fusions et acquisitions, hors grande hydro)



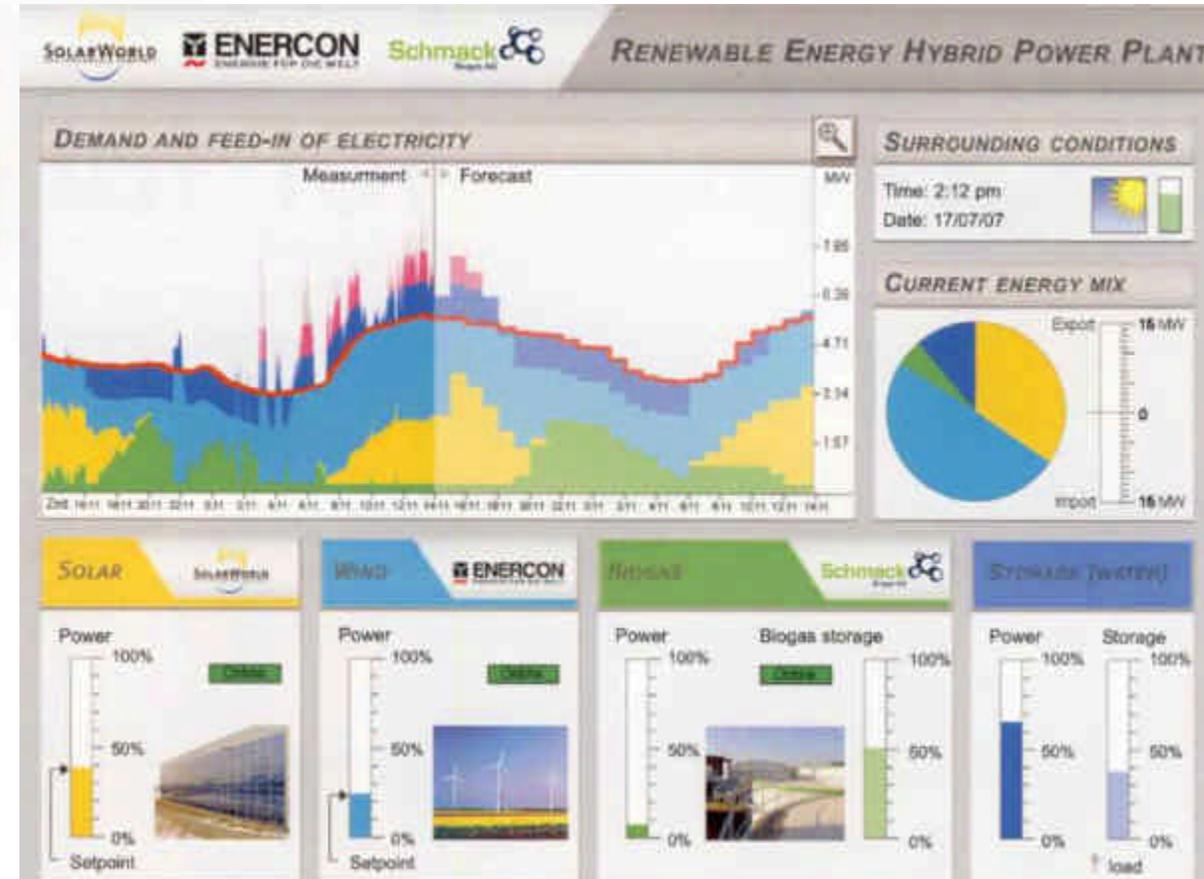
Investissements mondiaux 2006 en ER+EE (Total: 70,9 b\$)
Source: UNEP, NEF, juin 2007, hors grande hydro, fus. & acqu.



L'intégration des ER: expérience 100 % électricité ER

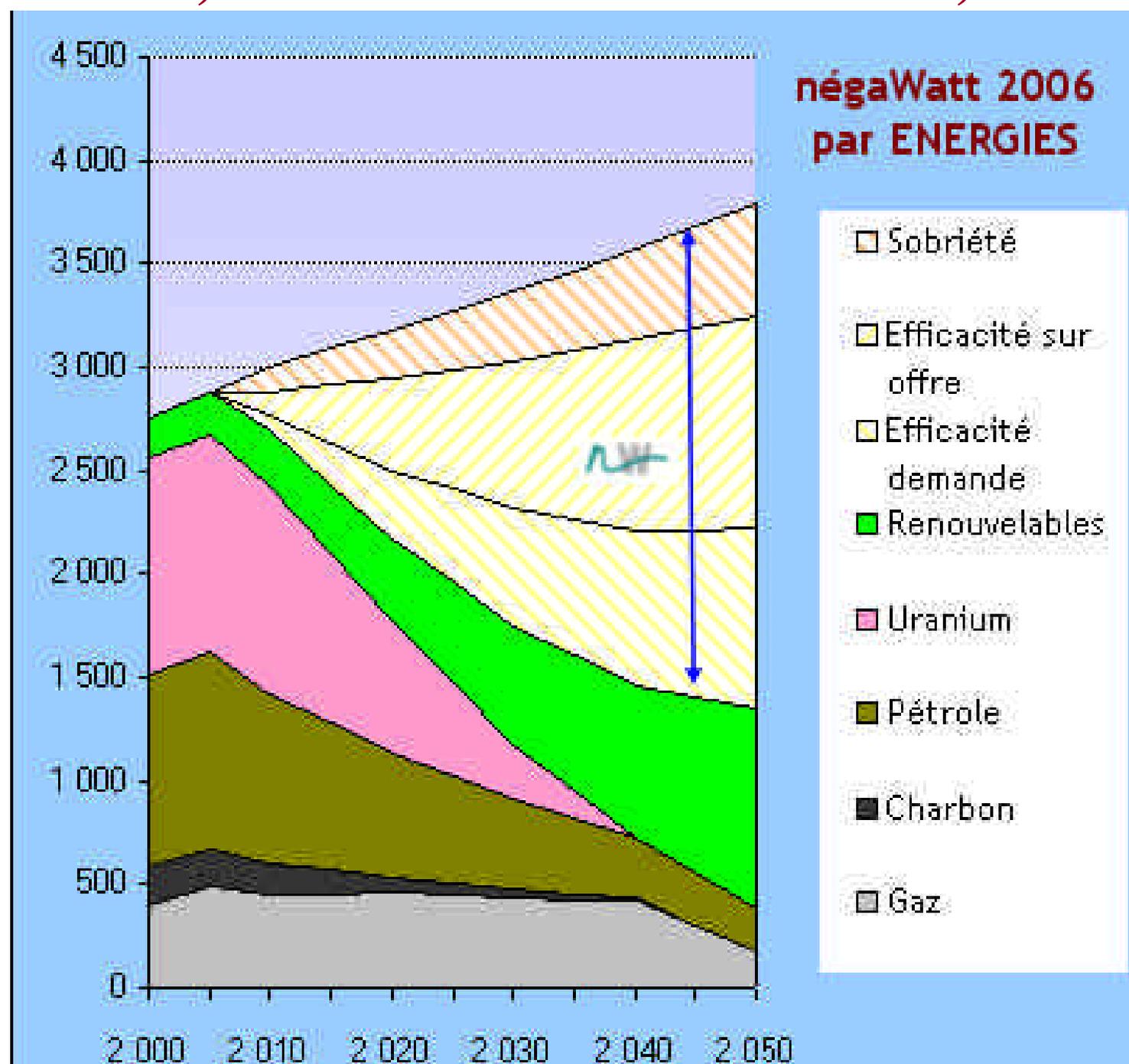


Forecasts and control within a hybrid renewable energy power plant.



Un scénario SE*EE*ER: le scénario negaWatt 2005

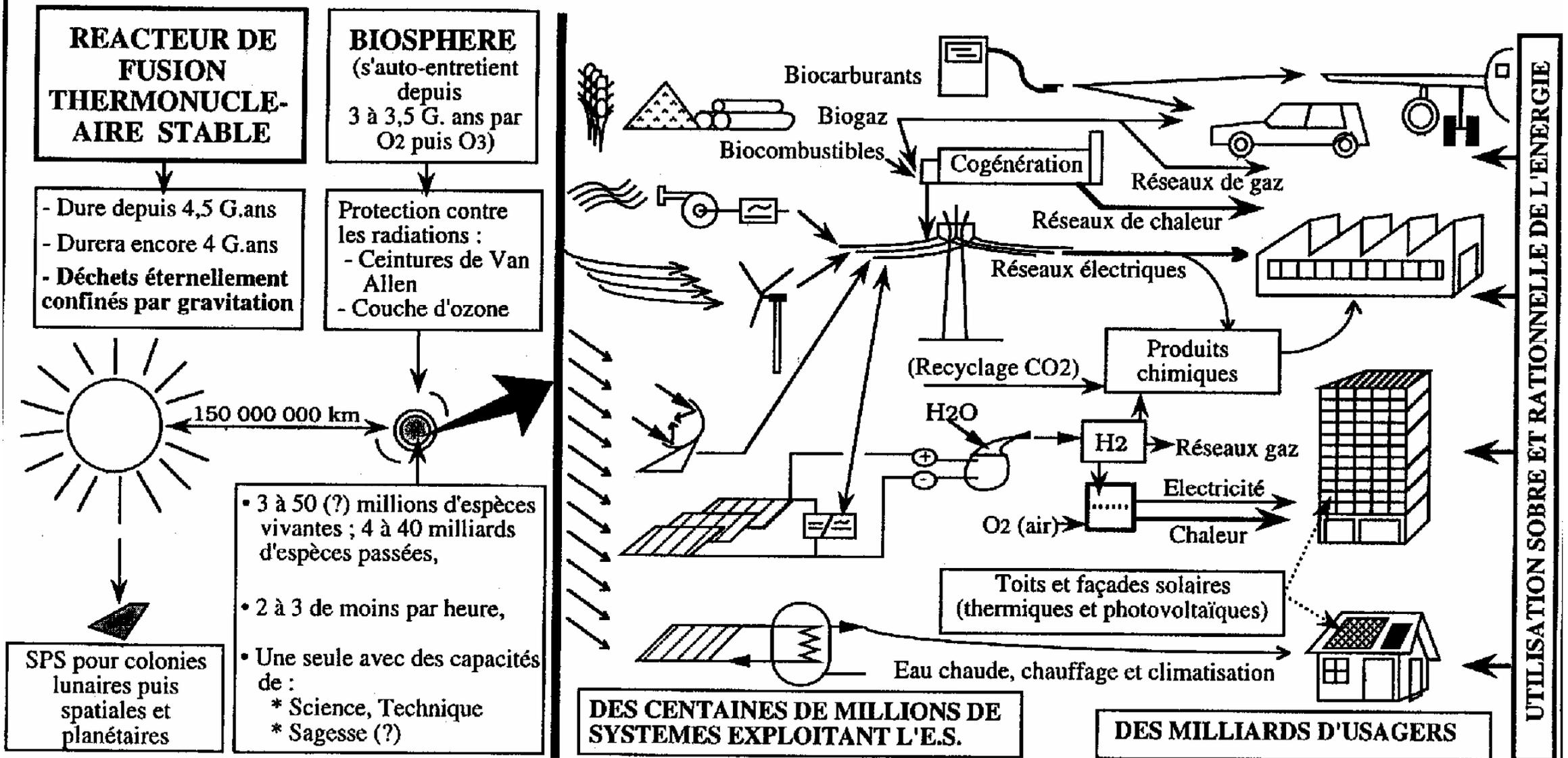
Impacts relatifs Sobriété, Efficacité offre/demande, ER



**Après 2050: vers 100 % ER*EE*SE
ou vers la « fusion bien tempérée »**

La "Fusion bien tempérée": synergies SE x EE x ER

L'INTEGRATION A LONG TERME DE L'ENERGIE SOLAIRE : VERS LA "FUSION BIEN TEMPEREE" ou "TELEFUSION" ("COOL FUSION")



Conclusions

- ❑ Les énergies renouvelables dans la démarche SE * EE * ER sont complètement en faveur du dev. durable
- ❑ Leurs applications sont maintenant à grande échelle
- ❑ Les activités économiques qu'elles génèrent sont impressionnantes en CA, % croissance, emplois...
- ❑ Les 27 EM OK pour 20 % d'ER en 2020 en plus de 20% d'EE pour aboutir à -20% d'émissions de CO2
- ❑ Le développement des ER en France est aussi souhaitable et incontournable que dans les autres pays Européens et dans le reste du monde
- ❑ Une dynamique et des objectifs ER de moyen terme actés dans le « Grenelle de l'Environnement »