

***Quelles sources d'énergie ?***

***Quels critères d'évaluation ?***

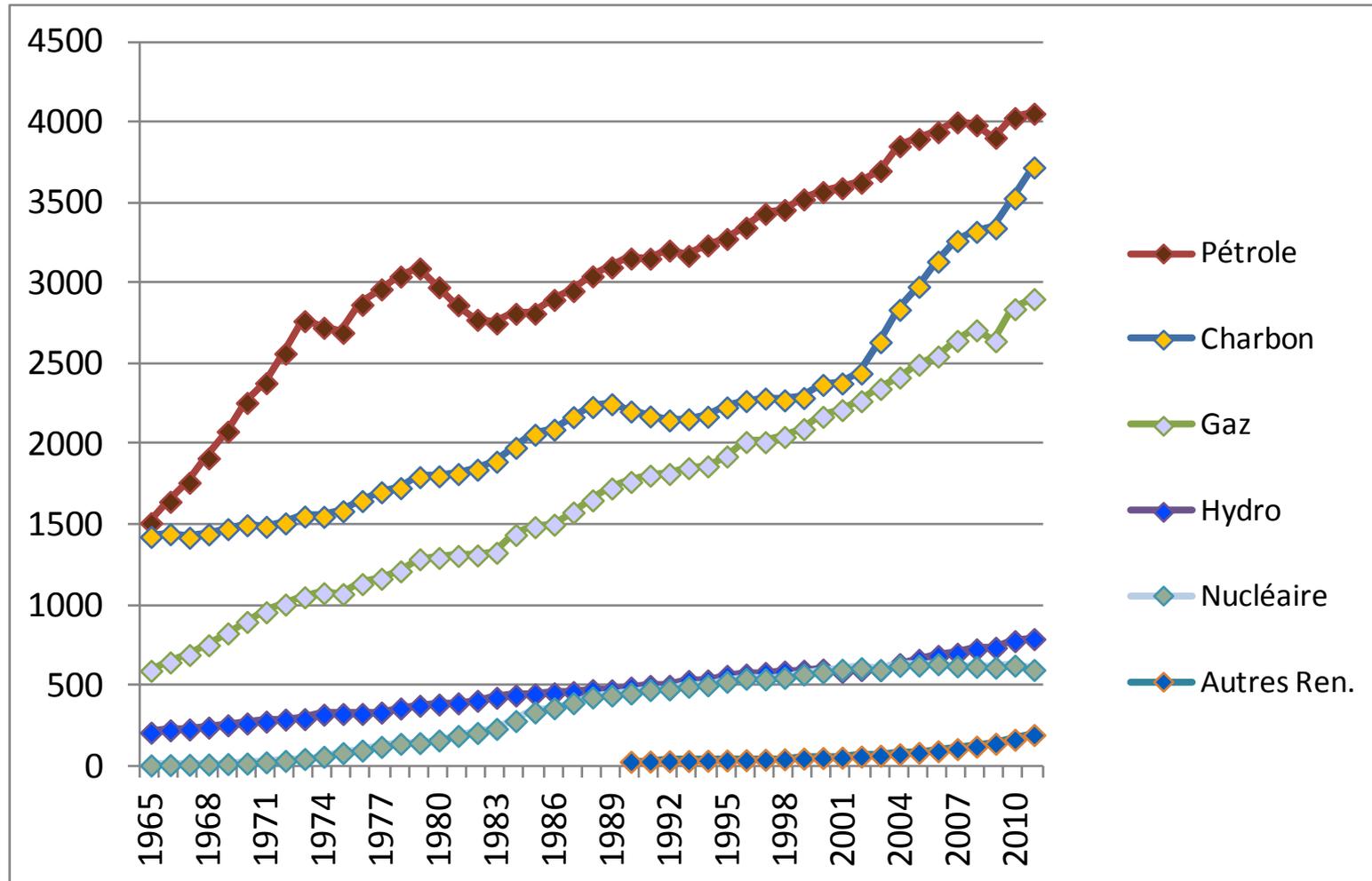
P. Criqui, CNRS-Université de Grenoble

JECO

10 novembre, 2012



# La dynamique des énergies primaires



# Dynamiques démographiques:

$$\text{CO}_2 = (\text{CO}_2/\text{ENE}) \times (\text{ENE}/\text{PIB}) \times (\text{PIB}/\text{POP}) \times \text{POP}$$

1. La dynamique des populations est structurée par la transition démographique : d'un régime de forte mortalité/natalité à un régime de faible mortalité/natalité
2. Tous les pays sont dans cette dynamique, même les moins avancés aujourd'hui
3. Les projections démographiques rendent compte de cette réalité et elles ont peu changé depuis 20 ans
4. La population mondiale de 7 milliards aujourd'hui devrait se stabiliser à 10 milliards dans la deuxième moitié du siècle
5. La première moitié du siècle apparaît donc comme une phase critique dans l'histoire de l'humanité avec une augmentation de 50% avant stabilisation

Sources: Nathan Keyfitz 1990 et Royal Academy of Science 2012

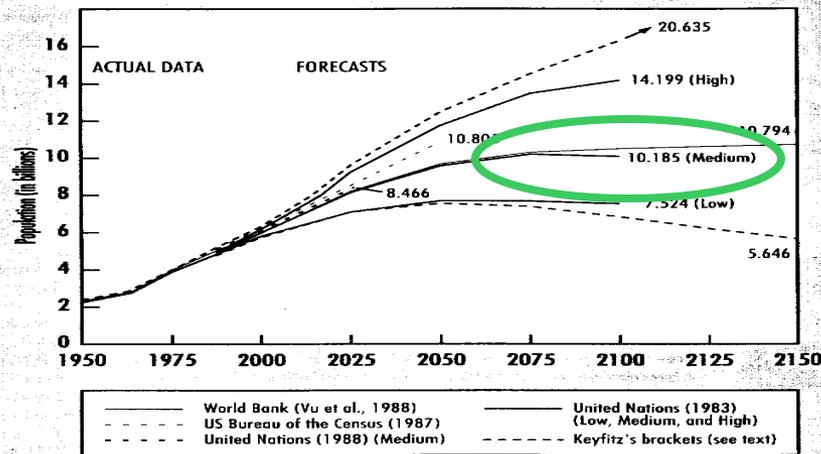
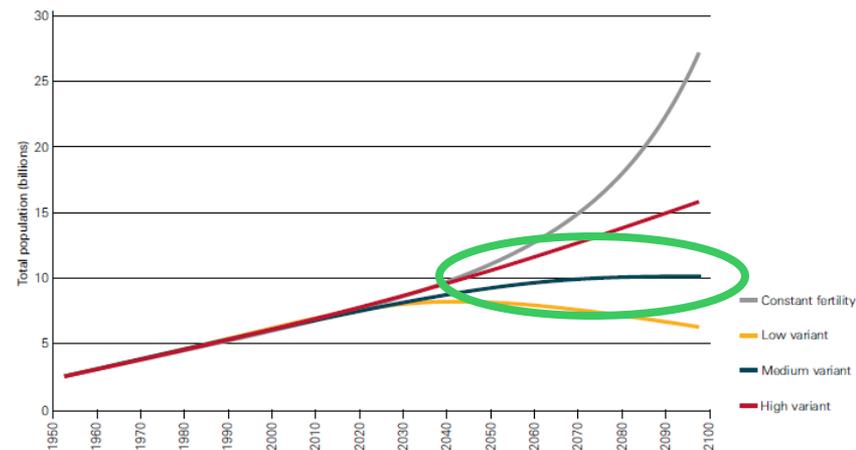


Figure 2.3 Global population numbers for the low, medium and high variants, and what happens if fertility rates remain constant, up until 2100.



Source: UNPD 2011



# Dynamiques économiques:

$$\text{CO}_2 = (\text{CO}_2/\text{ENE}) \times (\text{ENE}/\text{PIB}) \times (\text{PIB}/\text{POP}) \times \text{POP}$$

1. Depuis les années 80, la Chine et les autres pays émergents sont engagés dans un processus de convergence économique
2. Les taux de croissance de rattrapage se ralentiront à l'avenir pour rejoindre la croissance de la productivité des pays aujourd'hui industrialisés (2%/an)
3. Mais dans le processus on assistera à un rattrapage partiel et dans certain cas complet en niveau
4. Selon R. Fogel ou le CEPII (étude 2050), le PIB moyen chinois pourrait avoir rattrapé le niveau européen entre 2030 et 2040

Source: *The Economist* et CEPII

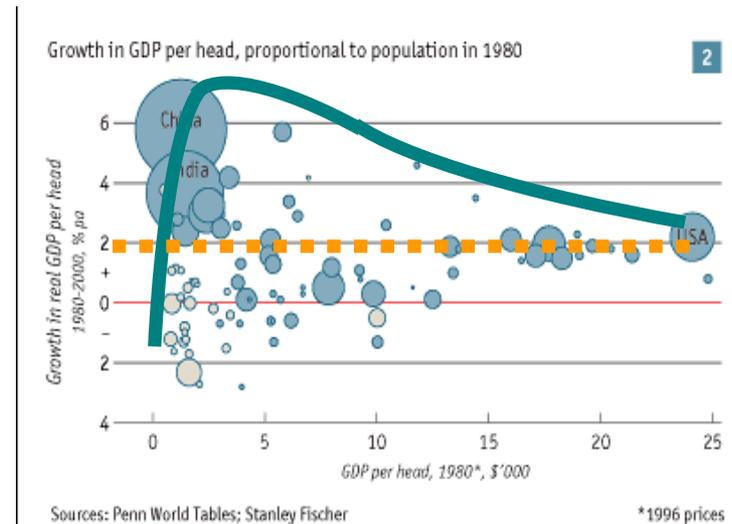
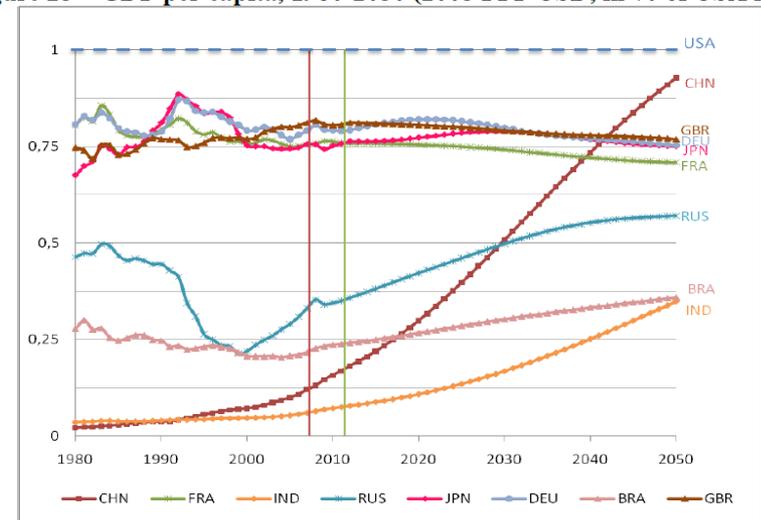
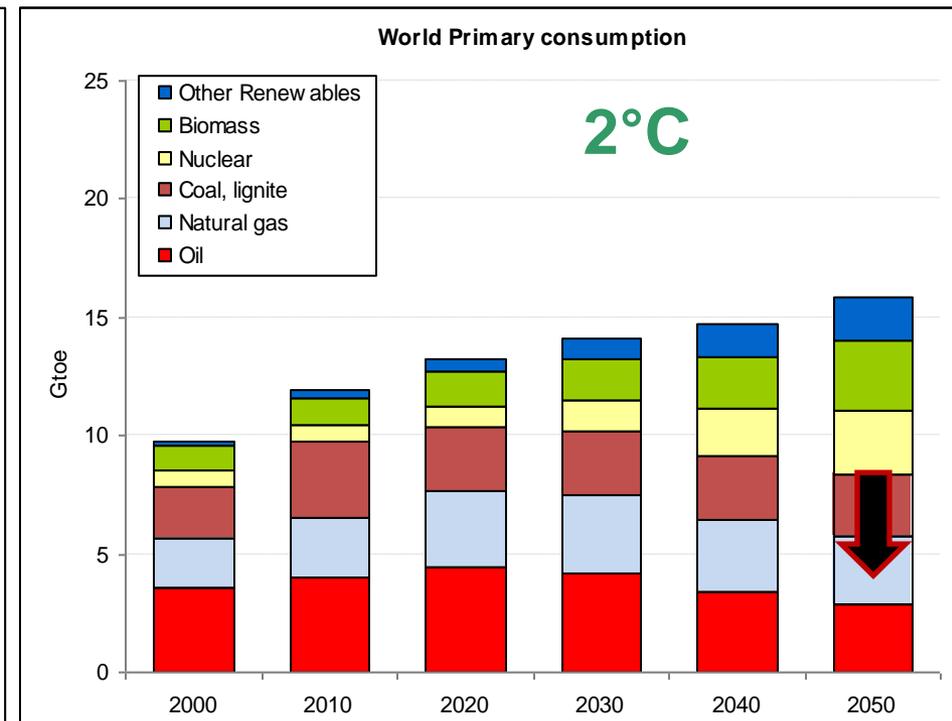
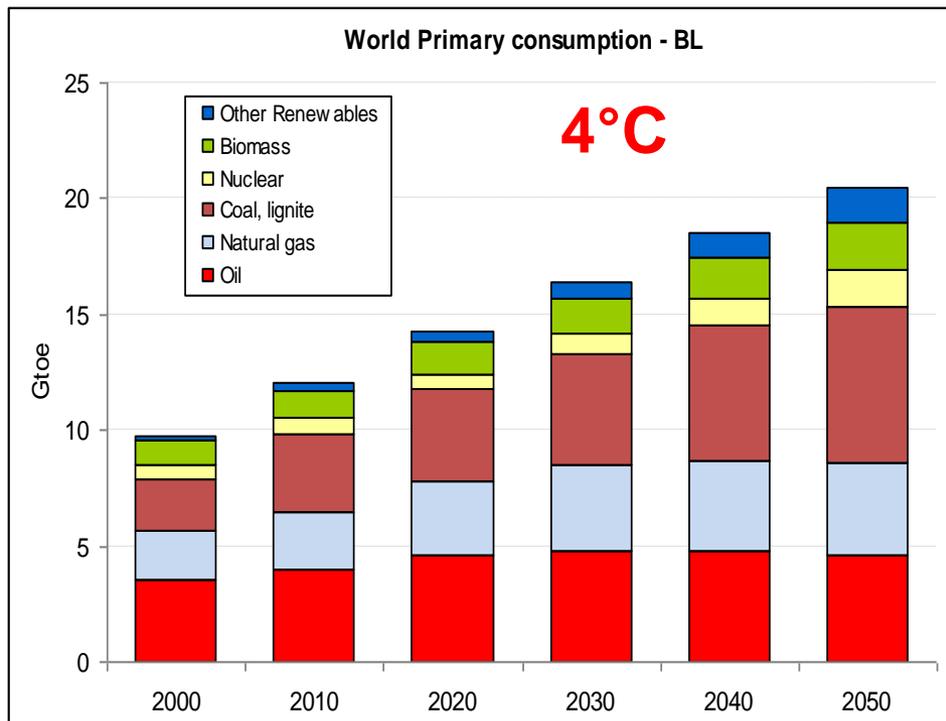


Figure 25 – GDP per capita, 1980-2050 (2005 PPP USD, in % of USA level)



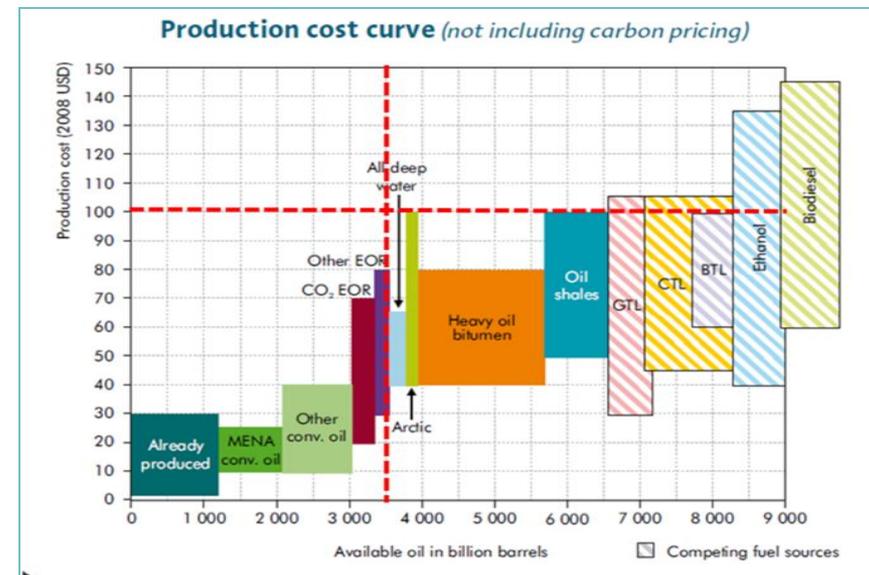
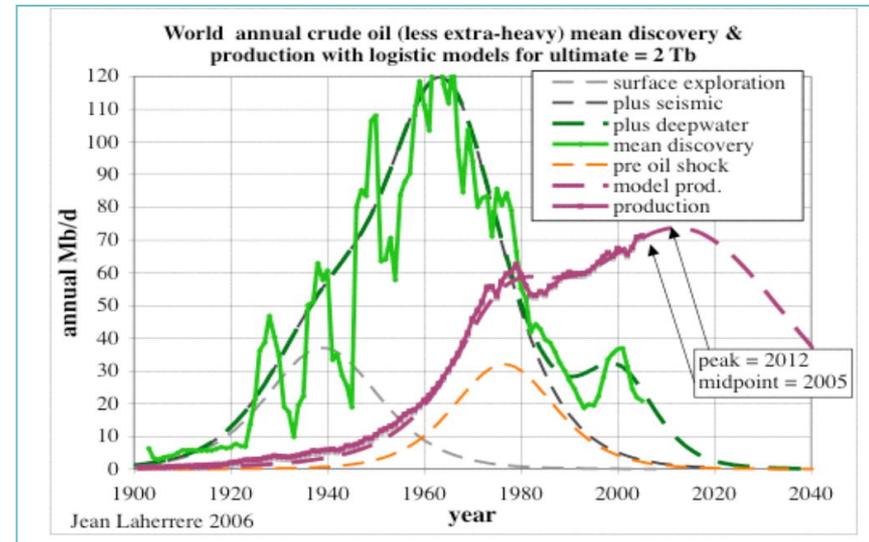
# Deux images contrastées du monde à 2050

- ◆ Avec une population et un PIB respectivement multipliés par 1,5 et par 4, le laisser-faire conduit au grand retour du charbon et au doublement des émissions => + 3-4°C dès 2100
- ◆ Une politique climatique responsable (2°C) limite la consommation totale, avec moins de fossiles... et un fort développement de la CSC



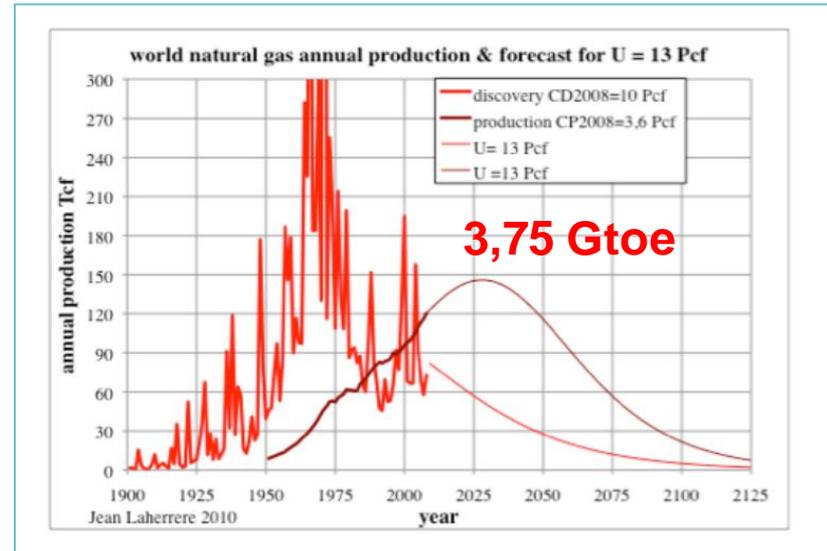
# Pic pétrolier ou nouvelle abondance ?

- ◆ Depuis la fin des années 90 l'ASPO prédit la fin imminente du pétrole cher et bon marché et le pic pétrolier
- ◆ Notre projection conduit plutôt à un plateau à 5 Gtep à partir de 2030 car le développement du pétrole non-conventionnel permet de compenser le déclin des HC conventionnels

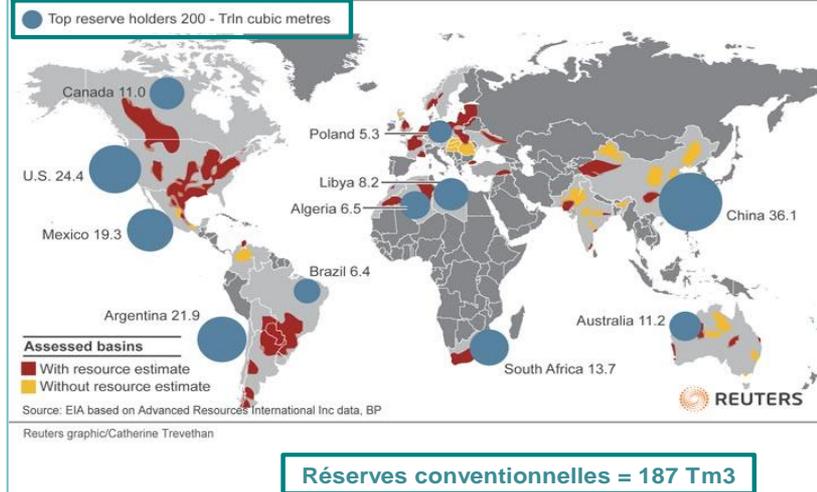


# Pic gazier ou doublement des ressources ?

- ◆ De même le pic gazier se transformerait en un plateau à 4 Gtep
- ◆ Car les gaz de schistes permettent de doubler les ressources mondiales
- ◆ Les avantages économiques sont à mettre en balance avec les impacts environnementaux locaux et globaux



## Global shale gas basins, top reserve holders

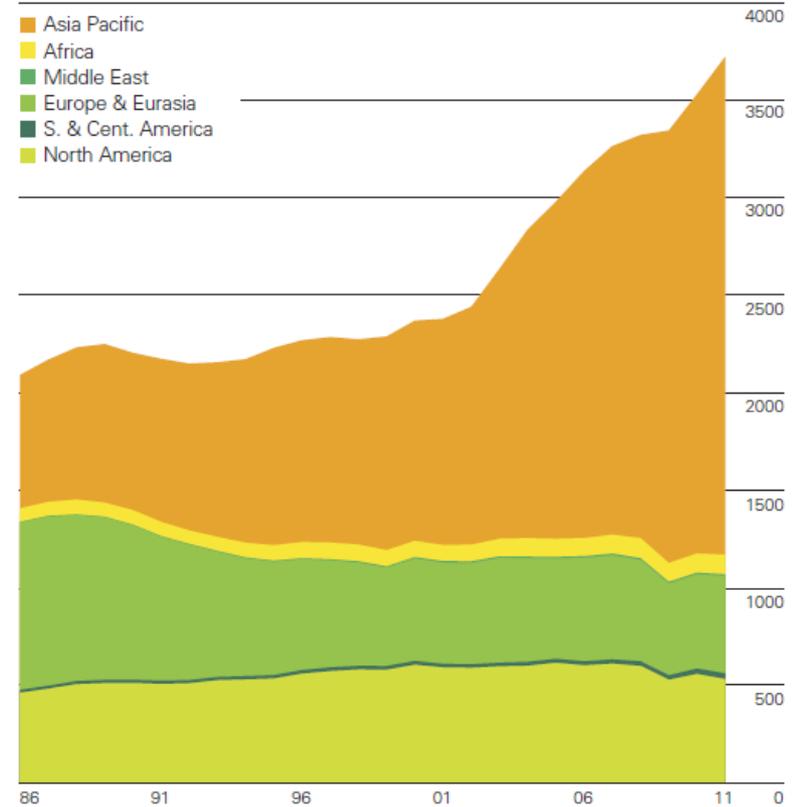


Réserve conventionnelles = 187 Tm3

# King Coal ?

- ◆ Le charbon est depuis le début de ce siècle l'énergie qui progresse le plus rapidement
- ◆ Cette croissance est évidemment tirée par les pays émergents d'Asie, la Chine consommant 49% du charbon mondial
- ◆ Cette région comprend par ailleurs un grand nombre de producteurs majeurs (Australie, Chine, Inde, Indonésie ...)
- ◆ Si les contraintes climatiques ne se renforcent pas, la compétitivité du charbon demeurera très forte et l'on pourrait avoir un doublement voire un triplement de la production à horizon 2050

Consumption by region  
Million tonnes oil equivalent



# 4 options et quelques autres pour la réduction des émissions

1. Sobriété et efficacité énergétique
2. Energies renouvelables (biomasse, hydraulique, éolien, solaire)
3. Energie nucléaire
4. Capture et Stockage du CO2

+

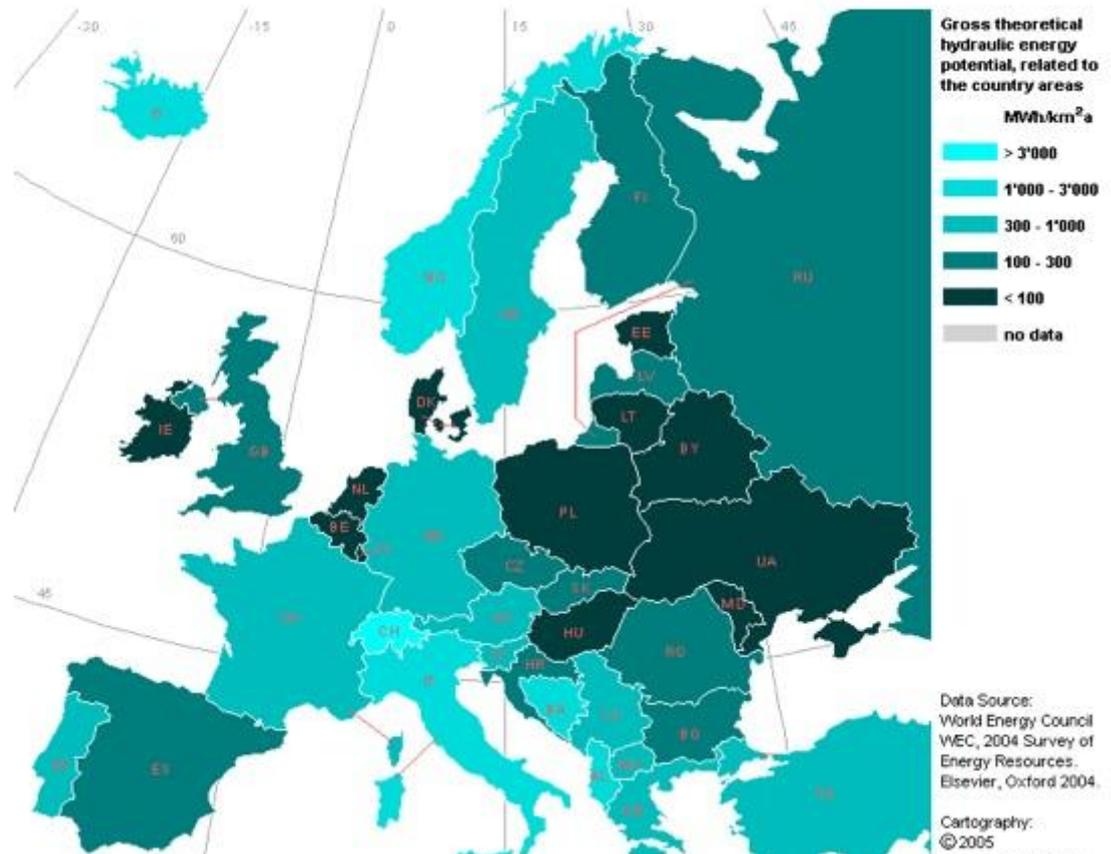
5. Substitution du charbon par le gaz “naturel”
6. Gestion des stocks de carbone dans les forêts et les sols
7. Géo-ingénierie
8. ???



# Potentiel hydroélectrique

- La ressource hydroélectrique permet un approvisionnement prévisible et maîtrisable en renouvelables. Elle se concentre:
  - dans les Alpes scandinaves en Norvège et en second Suède
  - dans les pays mitoyens des Alpes
  - au Portugal
- De façon générale, les façades soumises aux vents marins sont propices aux ressources hydroélectriques
- L'hydroélectricité peut permettre le stockage d'électricité en provenance d'énergies chaotiques
- Les pays d'Europe centrale en sont dépourvus.

## Hydroenergy Potential in EUROPE

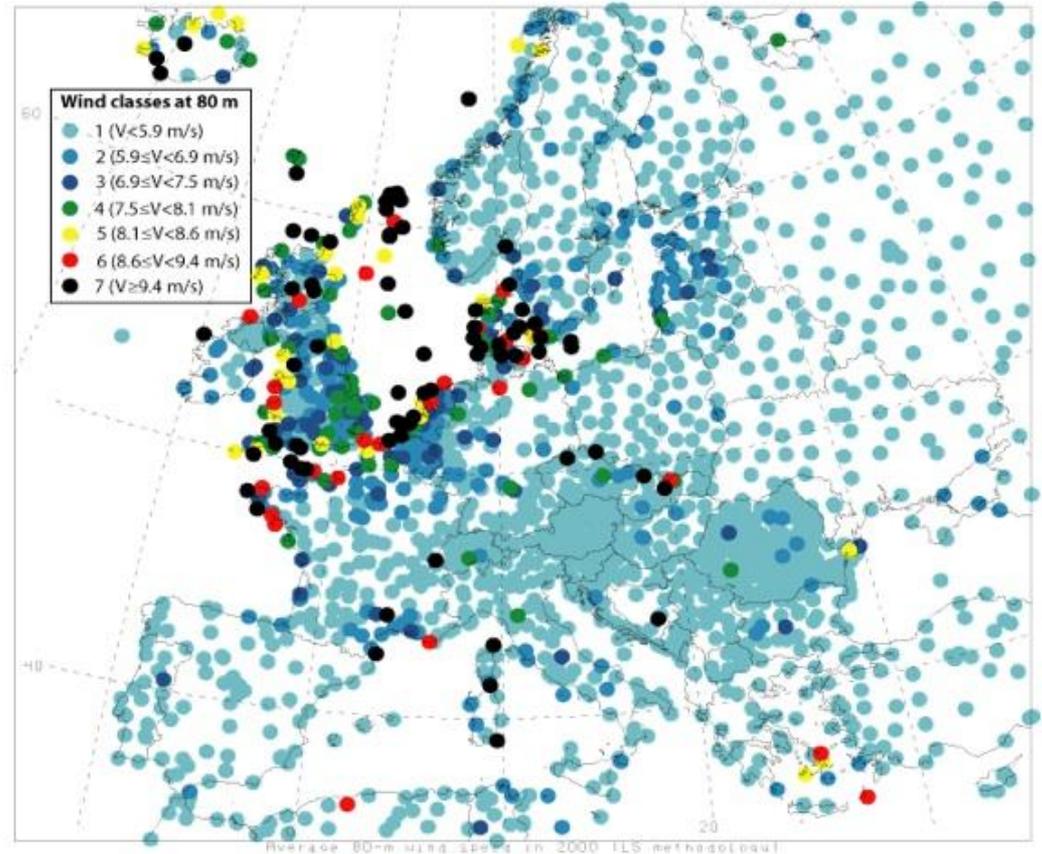


Source: Terra Nova Isère

# Eolien

- Les façades maritimes offrent les sites les mieux ventés, en particulier les Pays Bas, le Danemark, la Suède et les îles britanniques. La France est bien servie sur les côtes bretonnes et normandes.

Map of mean 80-m wind speeds for year 2000



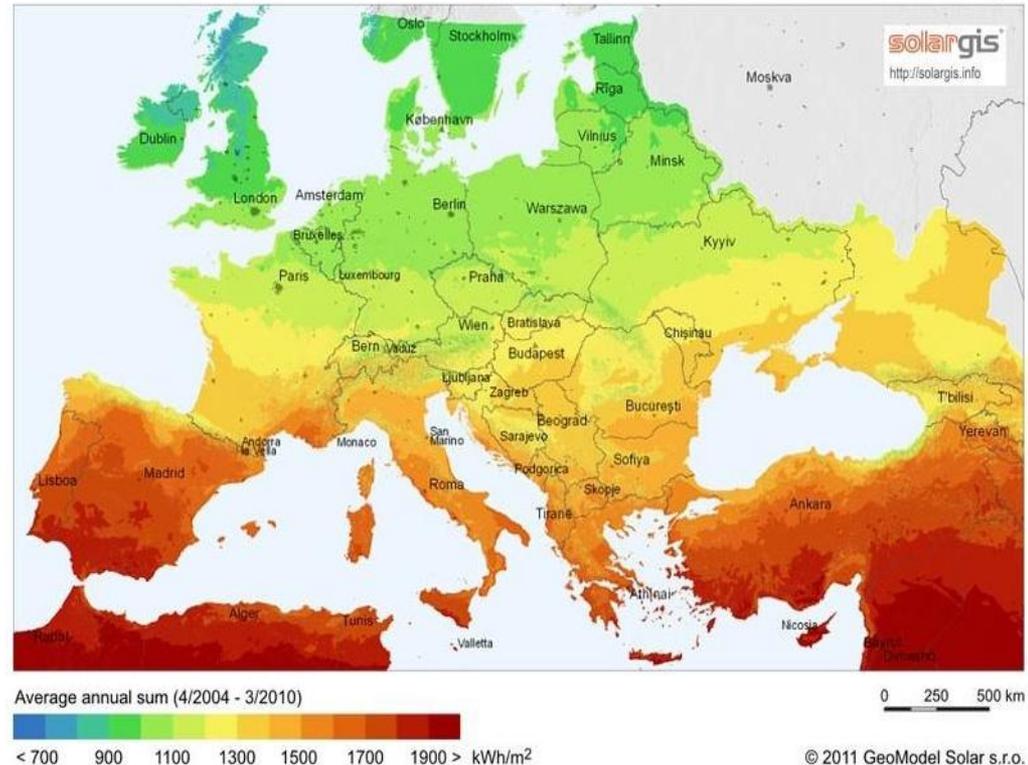
Source: Terra Nova Isère

# Solaire

- L'intérêt du solaire pour la production électrique commence
  - À partir d'un ensoleillement annuel de  $1400 \text{ kWh/m}^2$ , limite sud de la bande jaune pour le photovoltaïque
  - à partir d'un ensoleillement annuel de  $1700 \text{ kWh/m}^2$ , soit les pays méditerranéens, où le solaire thermodynamique à concentration peut être exploité.
- L'utilisation passive du solaire dans l'habitat pour le chauffage peut présenter un intérêt dans des pays plus nordiques. Ce point est évoqué plus loin car, ici, il n'est question que de la production électrique.

Global horizontal irradiation

Europe

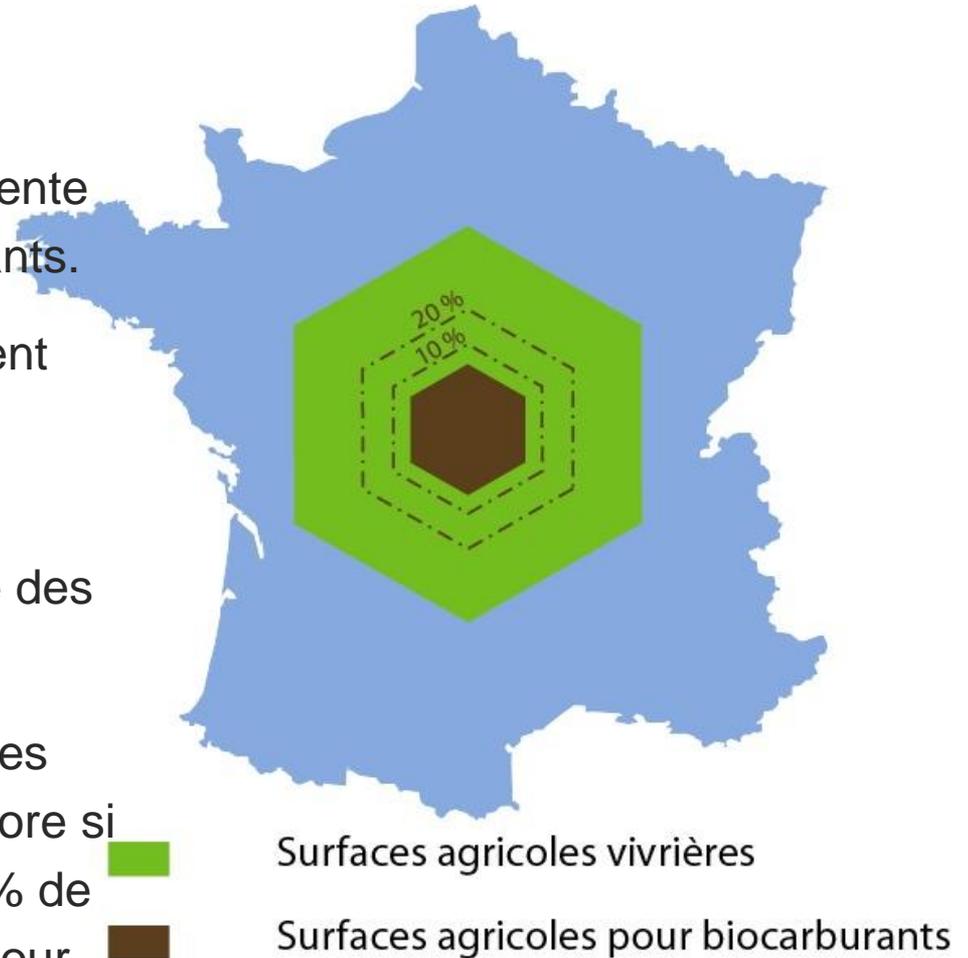


Source: Terra Nova Isère

# Biocarburants

## Le cas français:

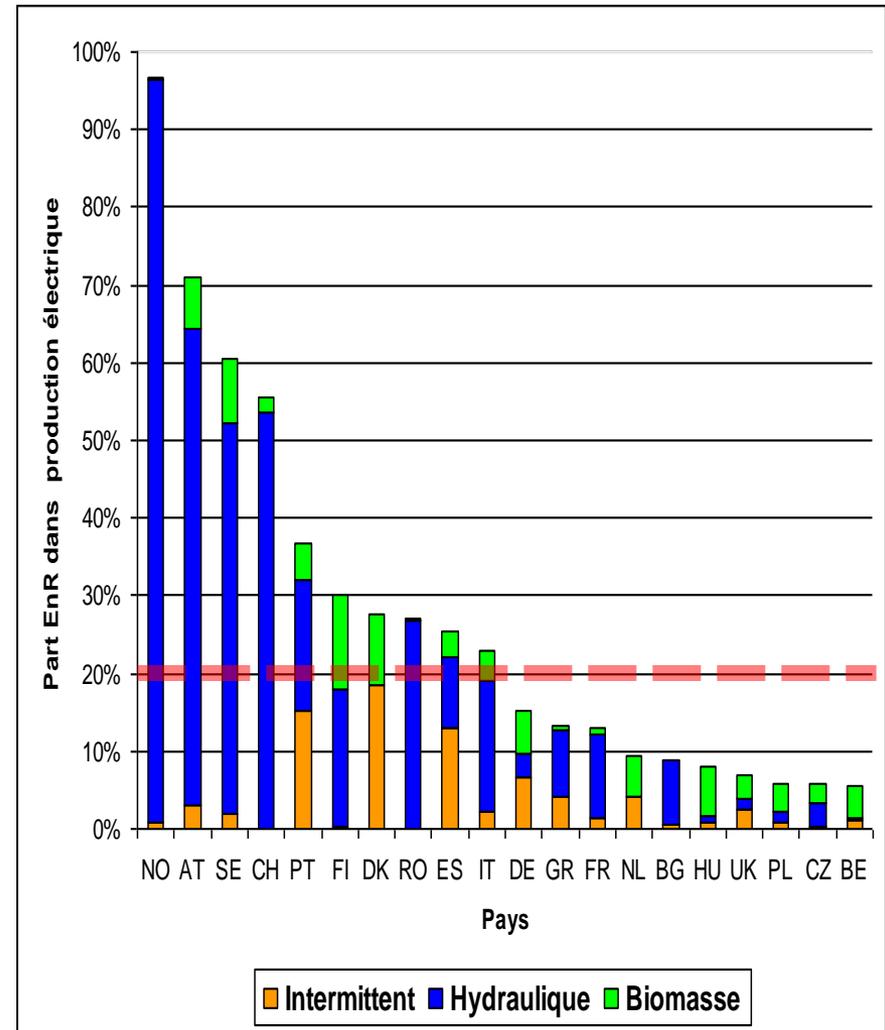
- ◆ La production de biocarburant représente 6,2% de la consommation de carburants.
- ◆ Les surfaces représentent actuellement 2,4 Mha (2 pour les oléagineux) sur 18,4 Mha de terres arables, soit 14%
- ◆ L'émission de CO<sub>2</sub> est de moitié celle des produits pétroliers.
- ◆ La part des terres agricoles consacrées aux cultures vivrières diminuerait encore si la production passait à 10% voire 20% de la totalité des carburants pétroliers. Pour 50%, il faudrait compter toutes les surfaces agricoles.



Source: Terra Nova Isère

# Renouvelables et production électrique

1. La part des énergies renouvelables dans le mix électrique européen va de 5% (Belgique) à plus de 95% (Norvège)
2. Ces différences tiennent aux ressources naturelles avec un modèle nordique/alpin fondé sur l'hydroélectricité, et des taux de renouvelables supérieurs à 50%
3. Le Danemark, le Portugal et l'Espagne sont en tête pour la part de l'éolien, entre 15 et 20%
4. Pour le futur il convient bien de distinguer les renouvelables « programmables » (biomasse, hydro), des renouvelables chaotiques (éolien, solaire) qui demanderont, pour passer la barre des 20%, des capacités de relais ou de stockage



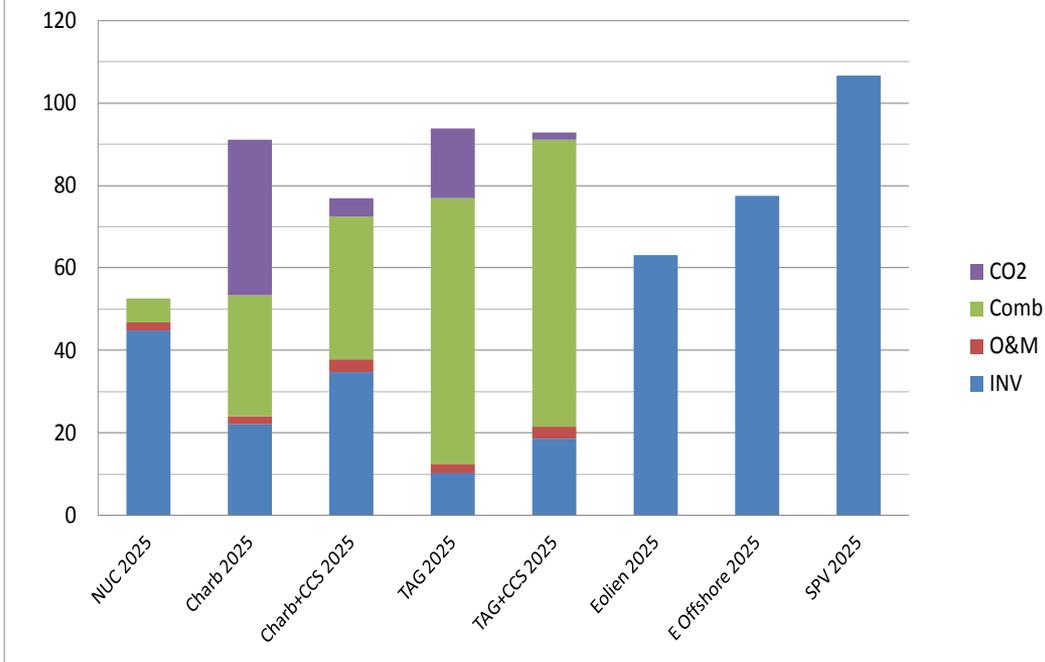
Source: Eurostat 2009

# Quel coût des scénarios alternatifs?

## ◆ De quels coûts s'agit-il:

1. Coût du programme d'investissement ?  
(quid des 3S: Smartgrids-Supergrids-Stockage)
2. Coût total compte-tenu des bouclages macro-économiques induits ?  
(difficulté du raisonnement en termes d'emplois créés, cf. Rapport Quilès, 1981 !!!)
3. Coût pour le consommateur, compte-tenu de l'impact sur la structure des coûts de production du parc ?

Coûts de production 2025 en €/MWh, source: base de données TECHPOL  
(Charbon à 150\$/t, Gaz à 15\$/Mbtu, CO2 à 50€/t)



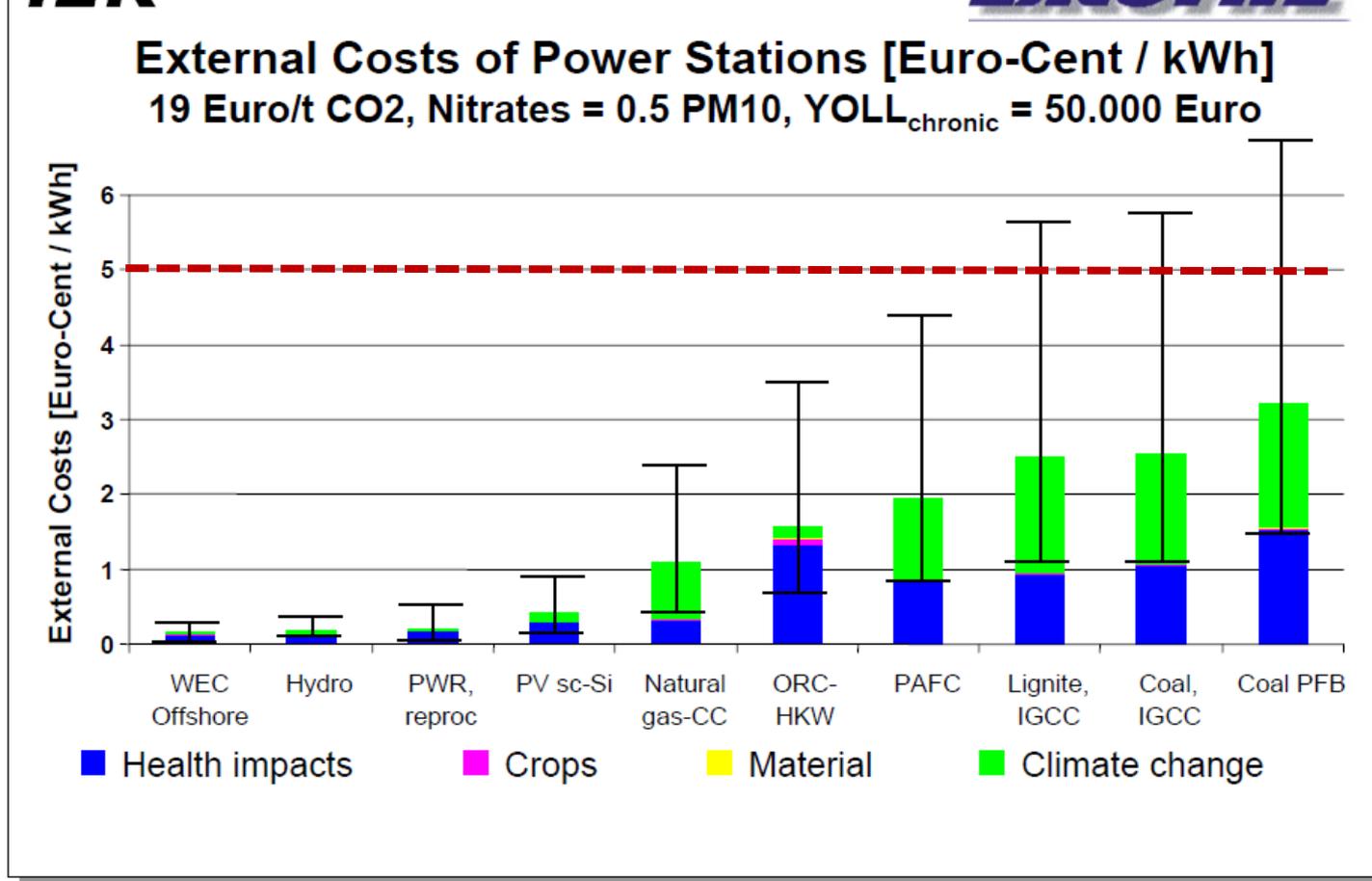
		nucléaire	renouvelables	fossiles	
	€/MWh	50	80	90	
70% nucléaire	part	70%	20%	10%	
	coût moyen				<b>60</b>
	€/MWh	50	100	90	
50% nucléaire	part	50%	40%	10%	
	coût moyen				<b>74</b>



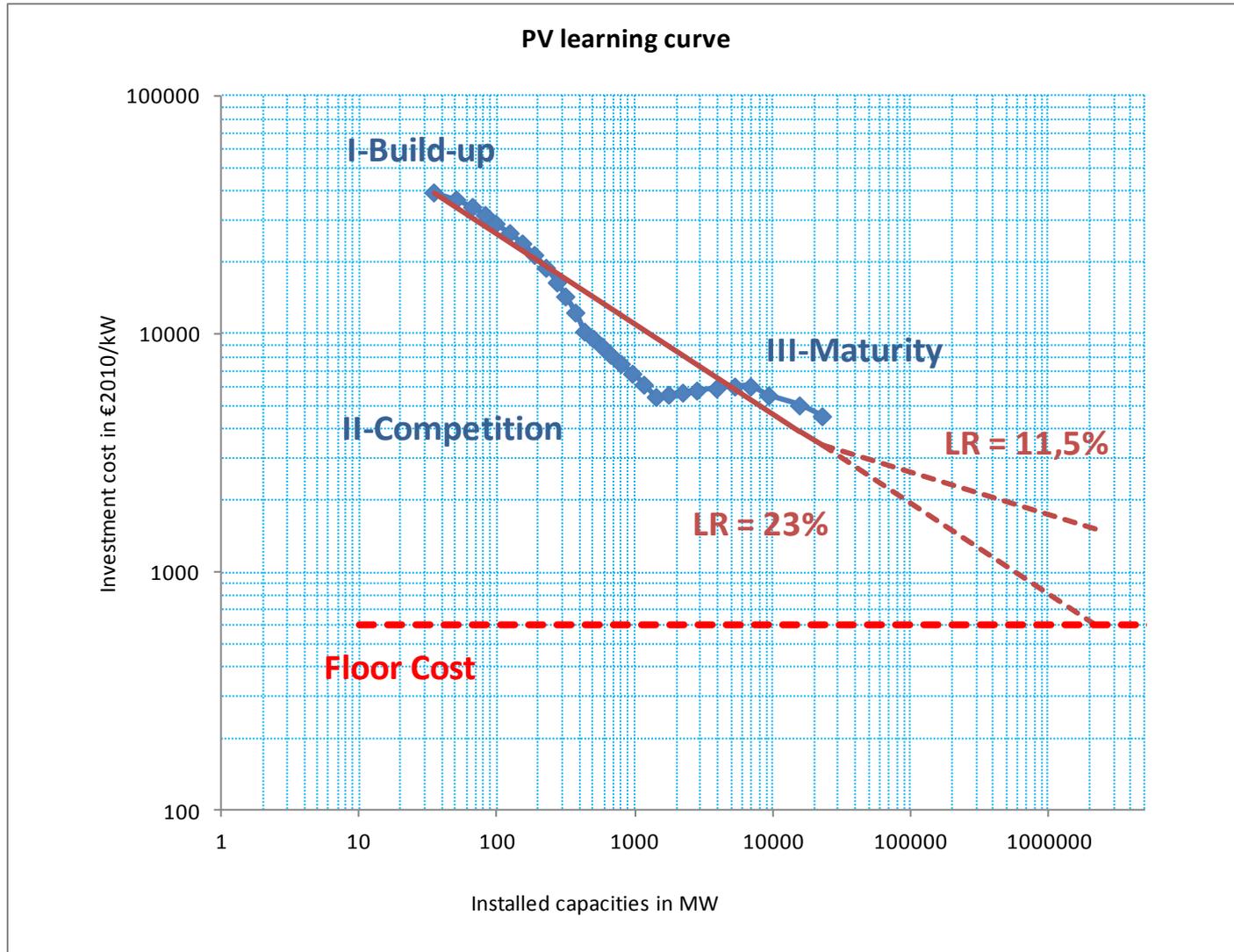
# Coûts environnementaux: l'approche Externe

IER

**Externe**



# Courbes d'apprentissage nouvelles technologies

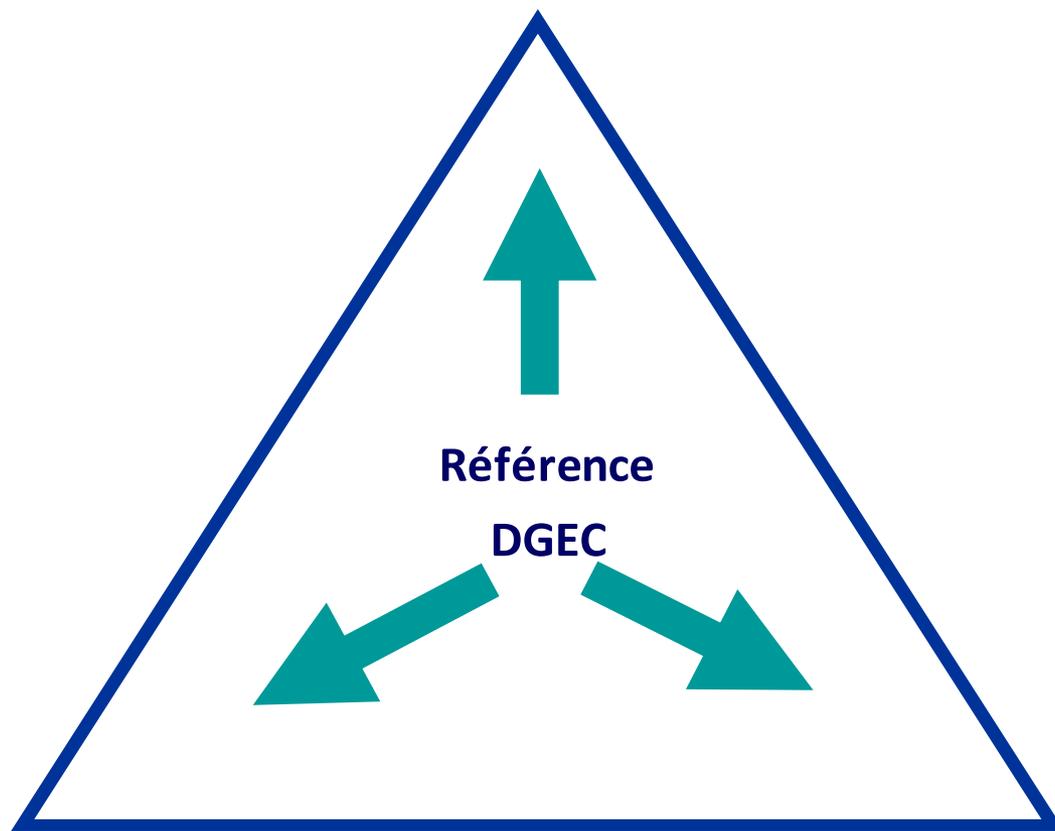




# Trois scénarios énergétiques à long terme pour la France

(source GT scénarios ANCRE)

1. Sobriété renforcée



2. Décarbonisation  
par l'électricité

3. Vecteurs diversifiés

# Une grille d'évaluation des scénarios énergétiques: 3 x 6 *(source GT scénarios ANCRE)*

## ◆ Indicateurs/critères économiques :

1. Coûts de référence des filières et coût moyen du parc (y.c. infrastructures)
2. Emploi (emploi direct, indirect et induit : filières et compétitivité)
3. Balance commerciale (matières premières, équipements et services)
4. Prix de l'énergie au consommateur (industrie et ménages)
5. Trajectoire d'investissement et modalités de financement
6. Endettement public (tenant compte des recettes fiscales et du financement)

## ◆ Indicateurs/critères environnementaux

1. Environnement local (pollution atmosphérique, eau, sols)
2. Risques industriels et accidentels (y.c. terrorisme)
3. Environnement global (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>...)
4. Emprise sur les sols et biodiversité
5. Ressources naturelles et matériaux stratégiques
6. Vulnérabilité aux crises géopolitiques

## ◆ Indicateurs/critères science et technologie

1. Maturité des technologies (disponibilité, coût, capacités industrielles)
2. Besoins de R&D (roadmaps, structurations des programmes, financement)
3. Projets pilotes et de démonstration
4. Instruments à long terme d'incitation (tarifs de rachat, appels d'offre...)
5. Stratégie de diffusion des innovations auprès des consommateurs
6. Articulation développement technologique-développement industriel

