



# Changement climatique ou changement technique?

## Politiques technologiques et gestion des incertitudes

*Cédric Philibert*

Division de l'efficacité énergétique et de l'Environnement  
Agence Internationale de l'Energie

## Séminaire d'Economie de l'Energie

18 Mai 2006

© OECD/IEA, 2006

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE



# Sommaire

- La dynamique de l'énergie et la stabilisation du climat
- Les technologies disponibles
  - ◆ *Zoom sur l'énergie solaire*
- Les politiques de changement technique
  - ◆ *Zoom sur les échanges de permis*
- Elargir et approfondir l'action
  - ◆ *Gérer les incertitudes*



# Un

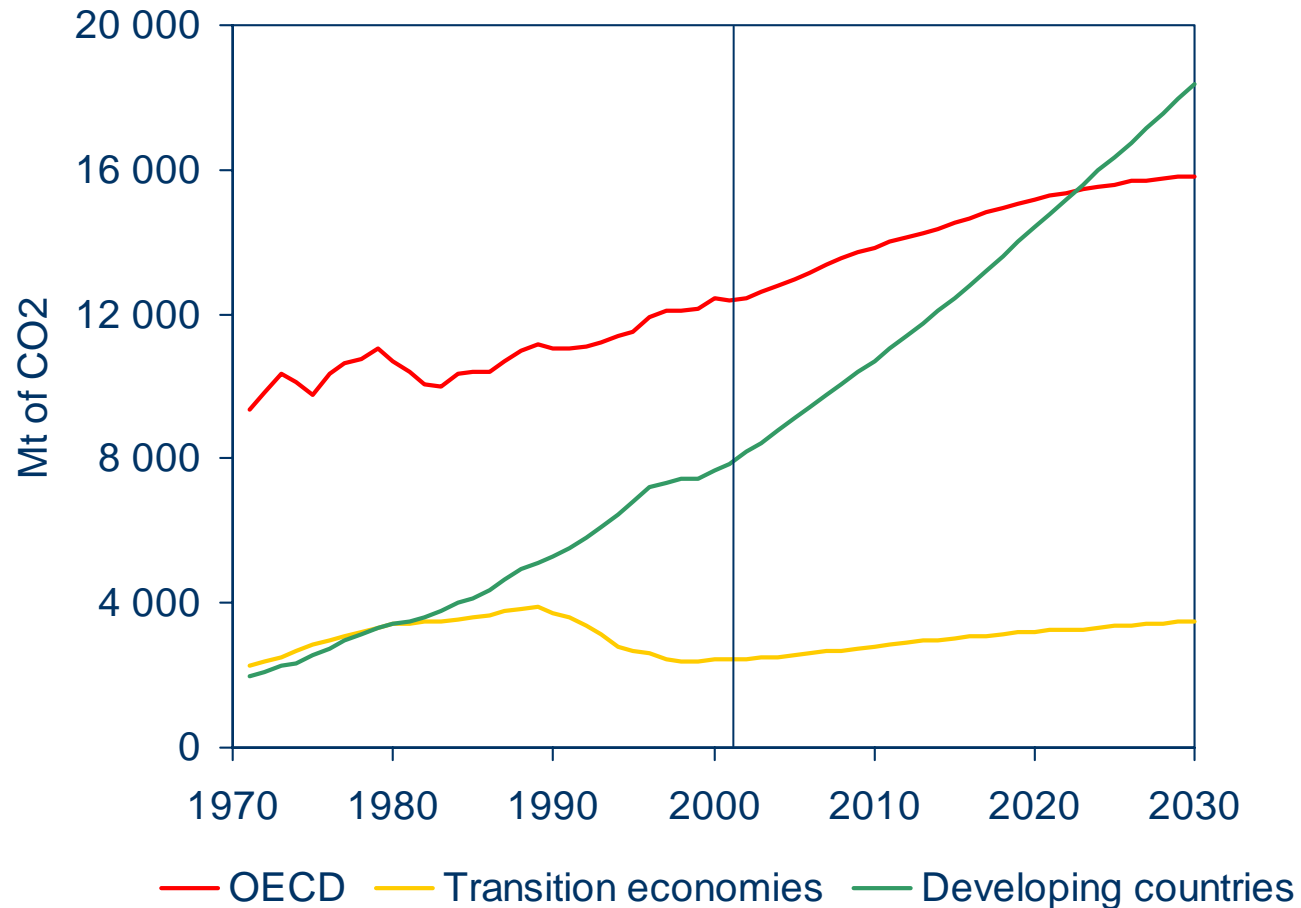
- **La dynamique de l'énergie et la stabilisation du climat**
- **Les technologies disponibles**
  - ◆ *Zoom sur l'énergie solaire*
- **Les politiques de changement technique**
  - ◆ *Zoom sur les échanges de permis*
- **Elargir et approfondir l'action**
  - ◆ *Gérer les incertitudes*



INTERNATIONAL  
ENERGY AGENCY

WORLD  
ENERGY  
OUTLOOK  
2004

# Emissions mondiales de CO<sub>2</sub> (énergie)



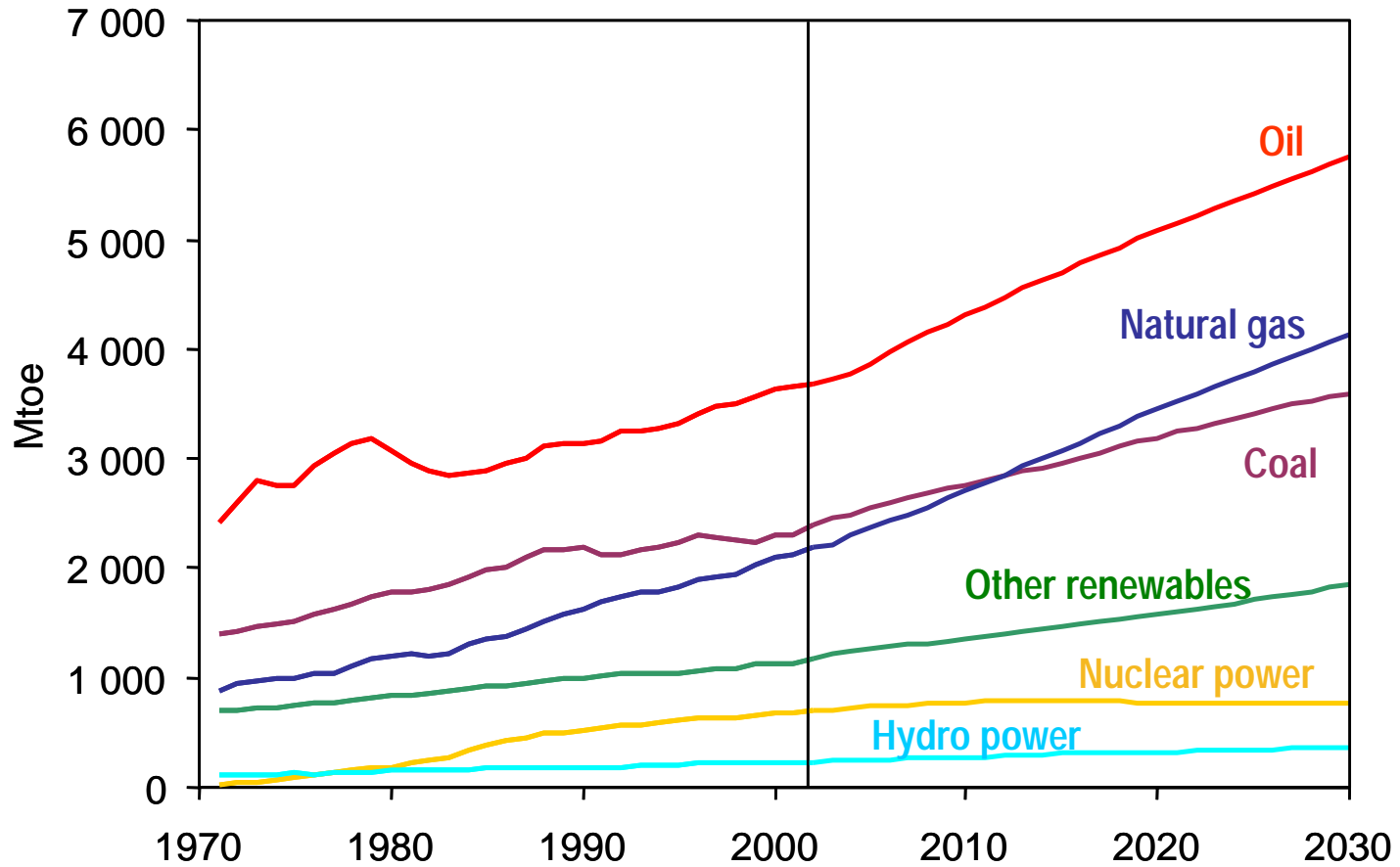
**Global emissions grow 62% between now & 2030, with developing countries' emissions overtaking OECD's in the 2020s**



INTERNATIONAL  
ENERGY AGENCY

WORLD  
ENERGY  
OUTLOOK  
2004

# Energie primaire mondiale



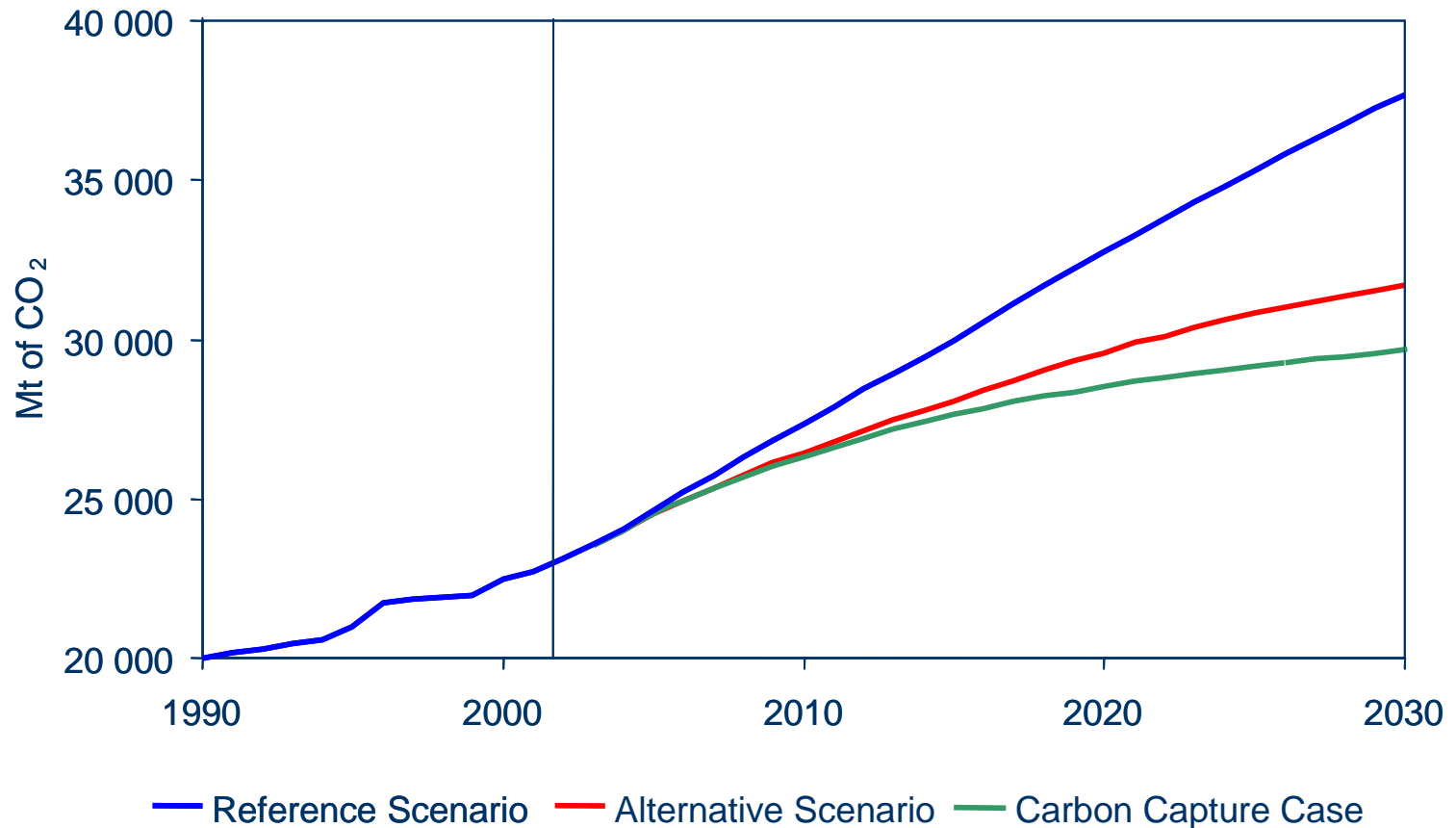
**Les combustibles fossiles assurent presque 90% de la croissance de la consommation d'énergie entre maintenant et 2030**



INTERNATIONAL  
ENERGY AGENCY

WORLD  
ENERGY  
OUTLOOK  
2004

# Emissions mondiales de CO<sub>2</sub> - scénarios de référence et alternatif



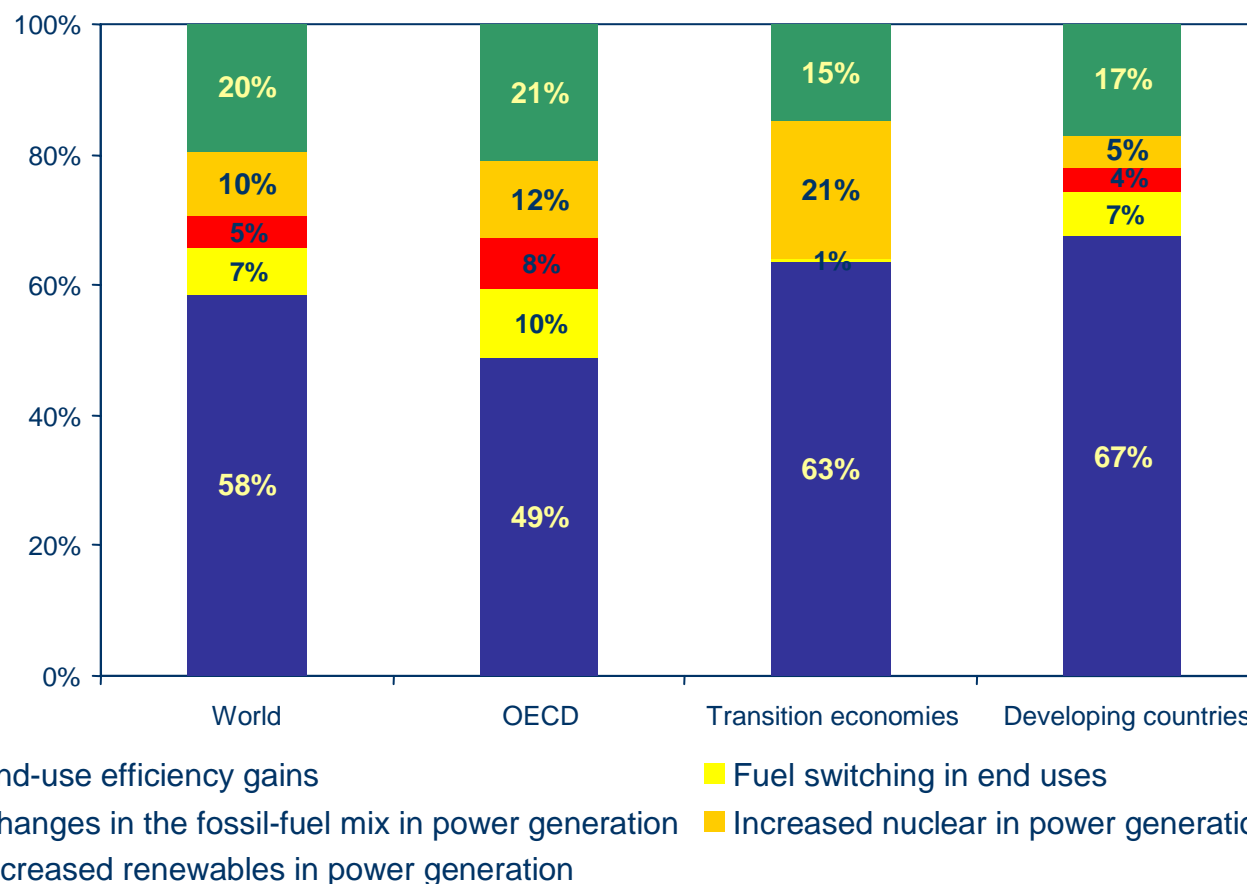
**Les émissions de CO<sub>2</sub> emissions sont 16% inférieures en 2030 dans le scénario alternatif, ou 21% avec capture et stockage du CO<sub>2</sub> dans la production d'électricité**



INTERNATIONAL  
ENERGY AGENCY

WORLD  
ENERGY  
OUTLOOK  
2004

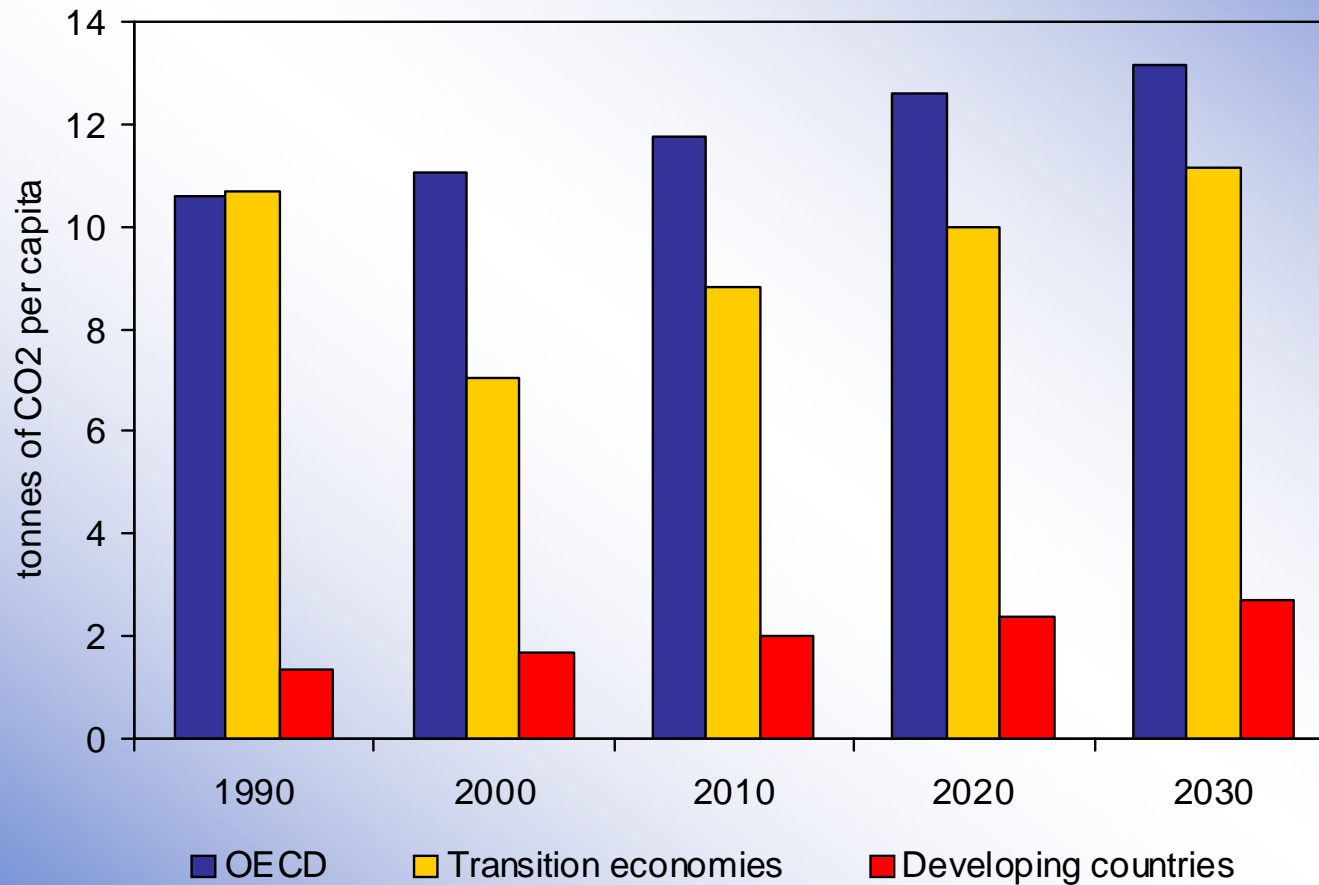
# Les facteurs de la réduction des émissions, 2002-2030



***Les améliorations de l'efficacité énergétique (usages finals) contribuent pour plus de la moitié, les renouvelables pour 20%***



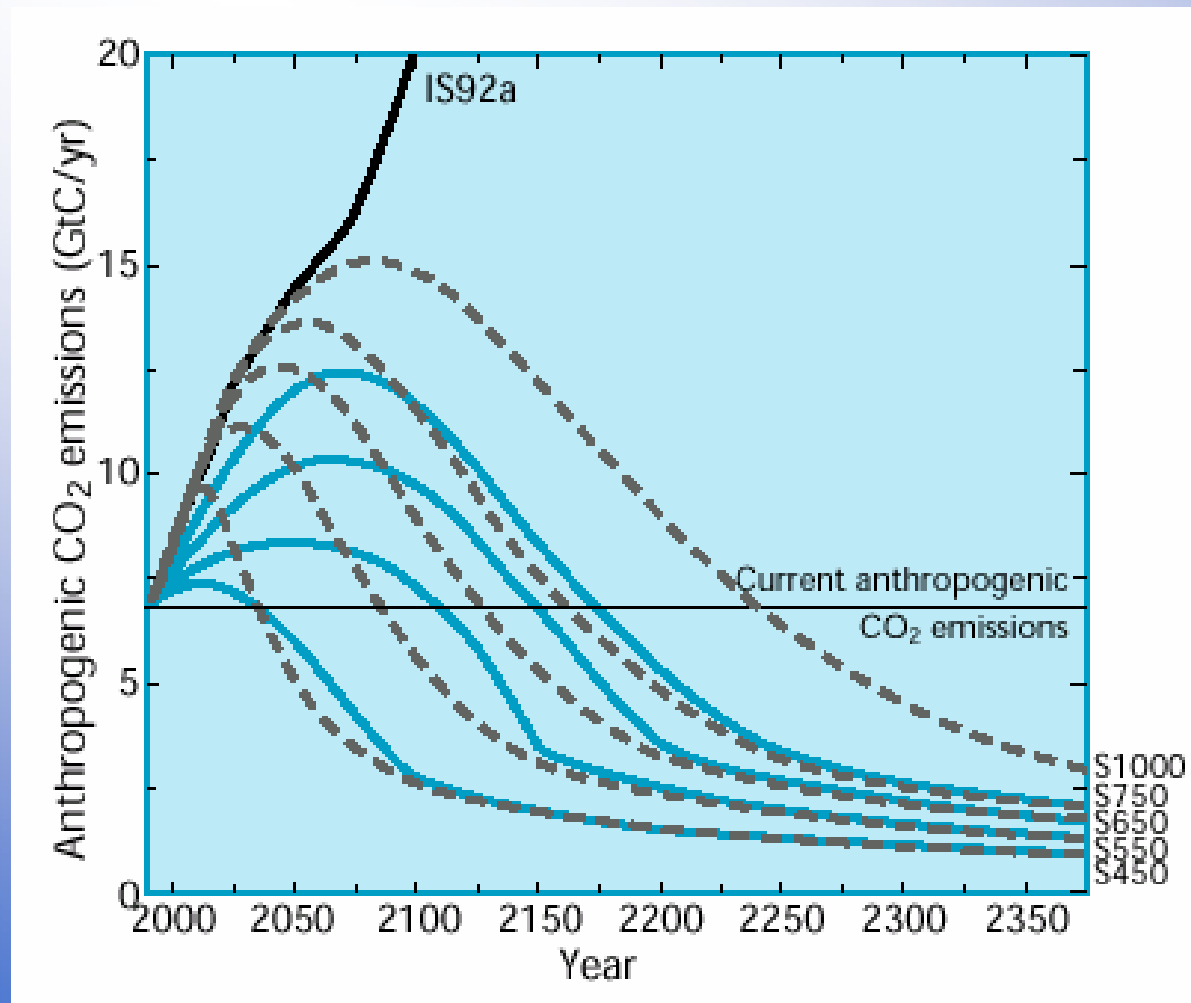
# Emissions CO<sub>2</sub> par habitant



Source: WEO 2002



# Stabilisation des climats

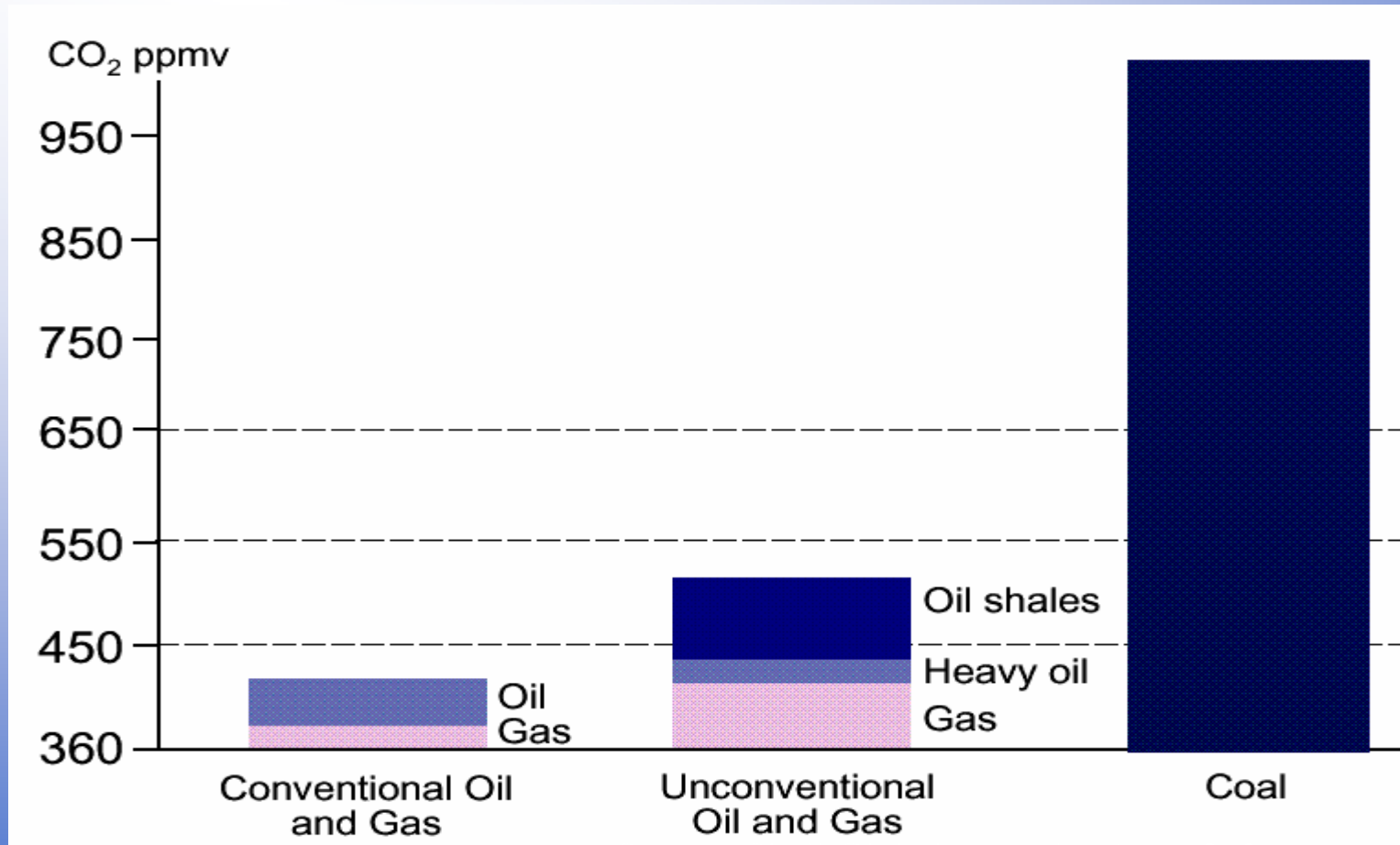


Le niveau ultime dépend avant tout du calendrier de réduction des émissions

Source: IEA



# Des réserves plus que suffisantes



Source: Shell Global scenarios 1996-2020



# Les prix élevés du pétrole

- **N'annoncent pas la fin du pétrole**
  - ◆ Tensions entre une demande structurellement croissante et une offre conjoncturellement ralentie
- **Améliorent la compétitivité...**
  - ◆ Du nucléaire, des renouvelables, des économies d'énergie
  - ◆ Des ressources non conventionnelles, et surtout du charbon
- **Pas forcément « bons » pour le climat**
  - ◆ Cela dépend des modèles et horizons temporels



# Deux

- La dynamique de l'énergie et la stabilisation du climat
- Les technologies disponibles
  - ◆ *Zoom sur l'énergie solaire*
- Les politiques de changement technique
  - ◆ *Zoom sur les échanges de permis*
- Elargir et approfondir l'action
  - ◆ *Gérer les incertitudes*



## Les solutions existent

- Améliorer l'efficacité énergétique
- Changer d'énergie (Charbon vers pétrole vers gaz vers sources sans carbone)
- Capture et stockage du CO<sub>2</sub>
- Augmenter les puits
- Réduire les émissions d'autres GES
- *Rejeter une quelconque de ces options conduirait à des coûts supérieurs ou des concentrations plus élevées*



# Le défi de l'efficacité



Bâtiments haute performance



Least life-cycle cost appliances

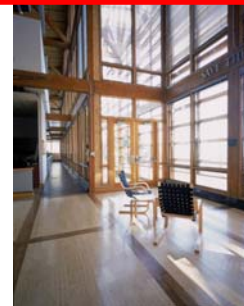


Labels et standards

- Des réductions substantielles d'énergie et d'émissions à des coûts négatifs ou nuls
  - Une amélioration de la sécurité énergétique
  - Une amélioration de la compétitivité et du bien-être social
  - "Des centaines de technologies" (GIEC)
- "Le moyen le moins cher, le plus propre et le plus sûr d'atteindre tous nos objectifs est d'utiliser moins d'énergie" - UK White Paper



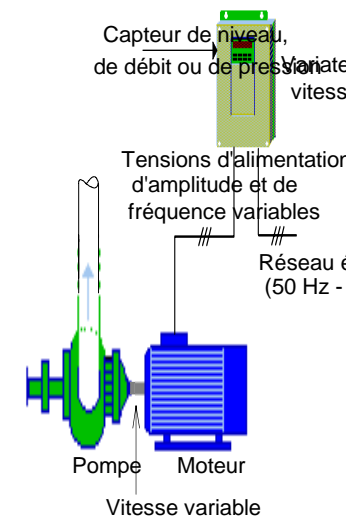
Technologies de l'information



Eclairage naturel

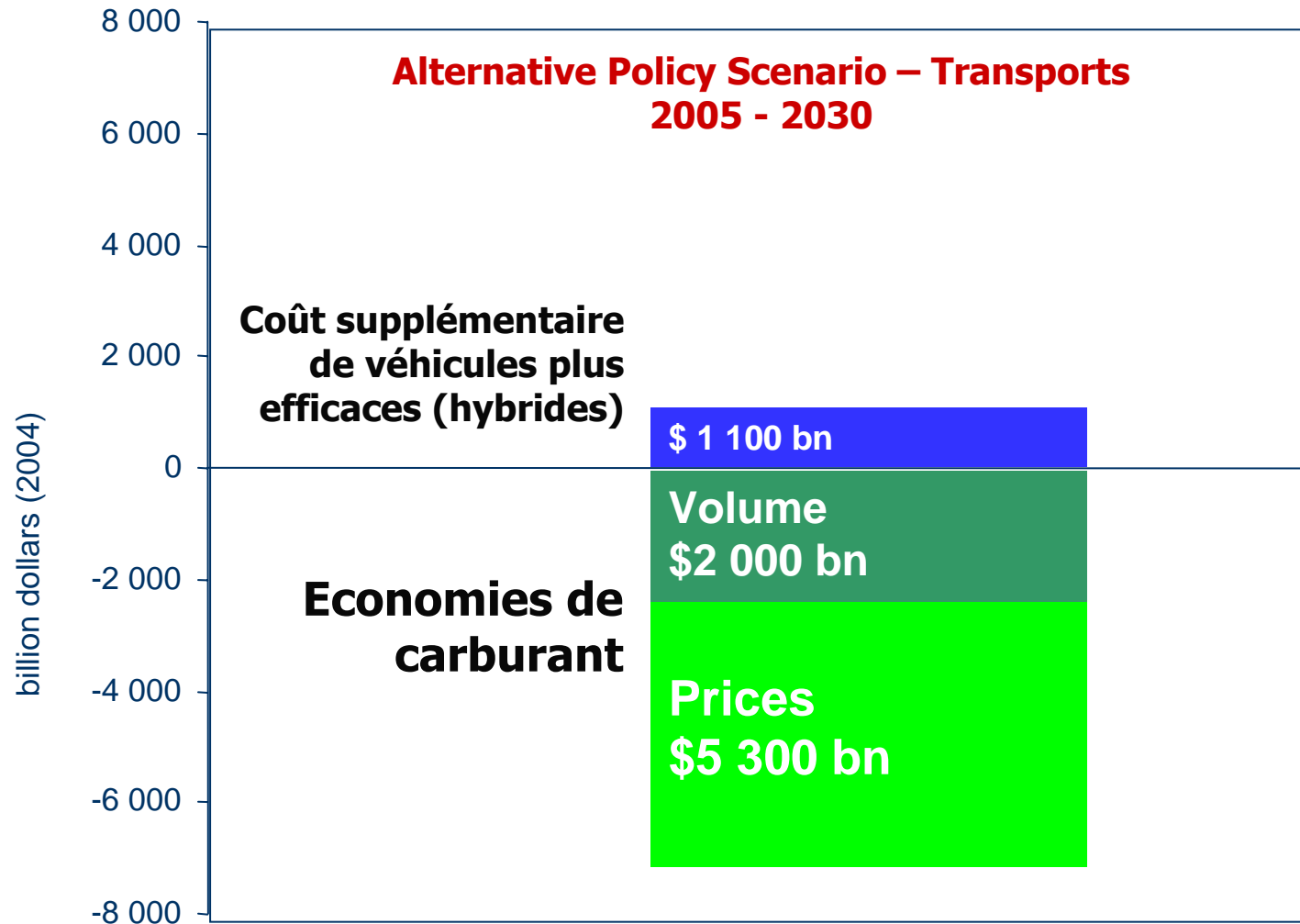


Hybrides et hybrides "pluggables"



Moteurs vitesse variable

# Les avantages de l'efficacité énergétique



**WORLD  
ENERGY  
OUTLOOK  
2005**

Middle East  
and  
North Africa  
Insights



INTERNATIONAL  
ENERGY AGENCY



## Des combustibles moins carbonés

- Gaz plutôt que pétrole plutôt que charbon (jusqu'à 43% de réductions d'émissions)
- Contraintes géographiques
  - ◆ Ratio réserves prouvées/production : 60-65 ans
  - ◆ Mais 9 ans Amérique du Nord, 250 Proche Orient
  - ◆ Ratio réserves/consommation totale d'énergie inférieure à 3 ans en Chine, Inde et Etats-Unis
- Gaz restant à trouver: jusqu'à 170 ans?



# Energie nucléaire

- Actuellement 7,3% de l'énergie primaire
- Préoccupations: risques, déchets, prolifération
- Pays membres ont des politiques contrastées
- Coûts: pas forcément un problème, notamment si le carbone a un prix
- Divers nouveaux concepts pourraient:
  - ◆ Réduire les coûts/Réduire les quantités de déchets/Augmenter les ressources/Diminuer les préoccupations de prolifération

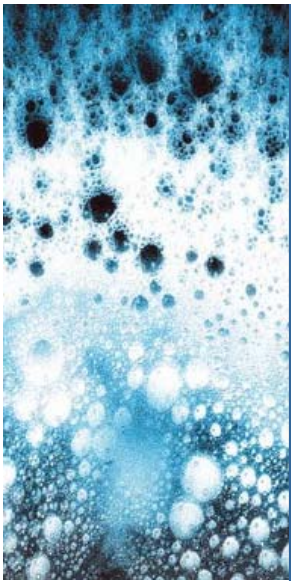


# Capture & Stockage du CO<sub>2</sub>

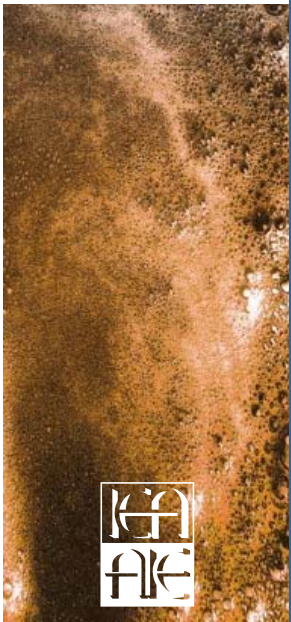
- Technologies pré- et post-combustion; O<sub>2</sub>
  - ◆ Capture pré-combustion peut produire H<sub>2</sub>
  - ◆ Le stockage géologique
    - Récupération assistée d'hydrocarbures
    - Aquifères salins: des capacités considérables
    - Quelques expériences en cours
  - ◆ La stabilisation peut nécessiter de stocker des quantités très importantes de CO<sub>2</sub>.
  - ◆ La permanence sera-t-elle assurée?

# Capture et stockage: les perspectives

- Le potentiel le plus important est dans le domaine de l'électricité
- Les techniques de capture existent
- Les coûts peuvent être abaissés à 25-50 US\$/t CO<sub>2</sub> (1-2 US cents/kWh)
- Mais cela nécessite;
  - ◆ Une augmentation des efforts de R&D
  - ◆ L'introduction d'incitations à long terme pour stimuler l'introduction sur le marché

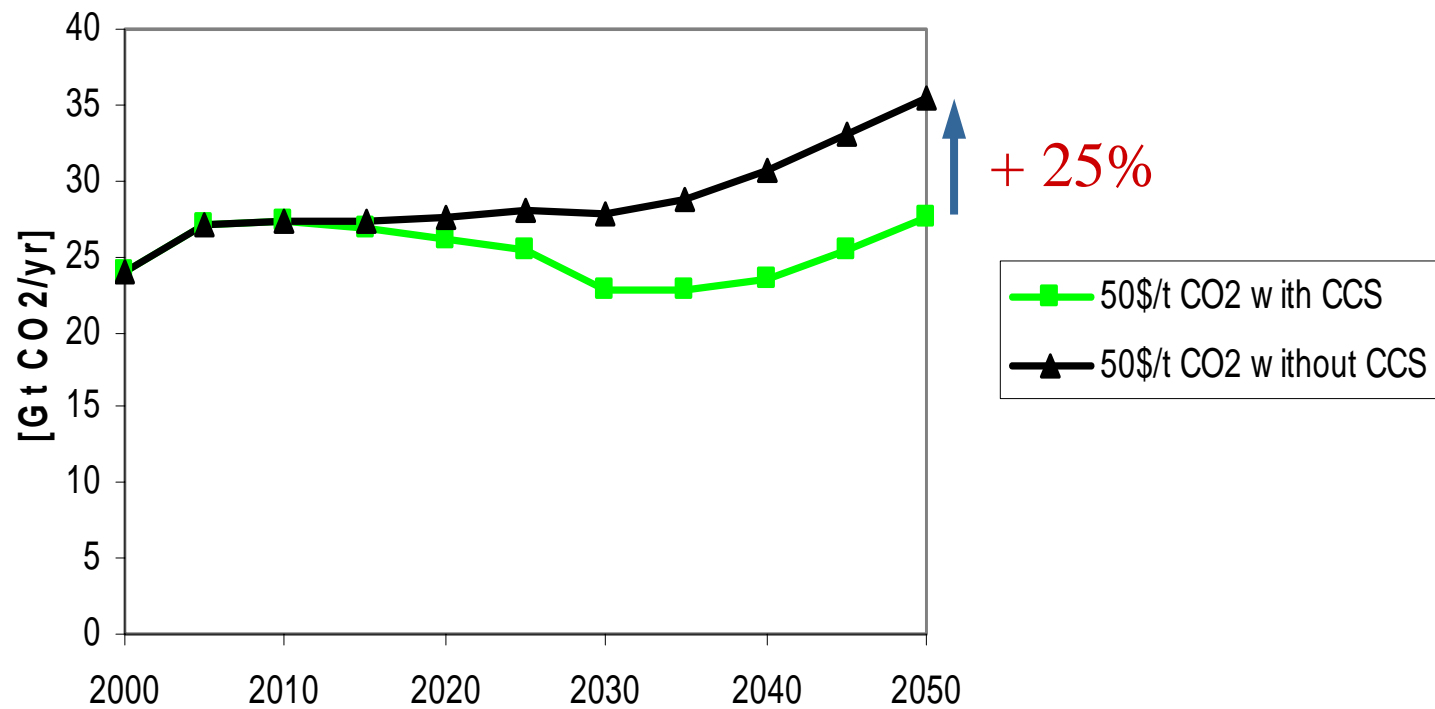


PROSPECTS  
FOR  
CO<sub>2</sub> CAPTURE  
AND  
STORAGE



# Resultats de la modélisation: Emissions annuelles avec un prix 50 \$/tCO<sub>2</sub> avec et sans CCS

PROSPECTS  
FOR  
CO<sub>2</sub> CAPTURE  
AND  
STORAGE



**Emissions 2050 25% supérieures sans capture et  
stockage**





# Les renouvelables

- **La biomasse et les déchets 11% énergie primaire**
  - ◆ Pas toujours renouvelable, parfois très polluant
  - ◆ L'occupation du territoire peut limiter la biomasse
- **Hydraulique 2.3% énergie primaire**
  - ◆ Mais les nouveaux projets rencontrent souvent des oppositions écologiques et sociales
- **Autres: moins de 1% de l'énergie primaire**
  - ◆ Croissance rapide de l'énergie éolienne
  - ◆ Problèmes de coûts et (surtout) d'intermittence
- **Solaire: un potentiel considérable**



## ***Zoom sur le solaire***

- **L'énergie primaire totale en 2002: 433 Exajoules (Ej), équivalent à 13.75 TW de puissance continue**
- **Projection 688 Ej, ou 21.8 TW en 2030**
- **L'énergie solaire à la surface du globe: 120,000 TW, soit 8000 fois les besoins.**
- **Il faudrait couvrir environ 0.6% des terres émergées avec des systèmes solaires d'une efficacité nette de 10%**



# Les technologies solaires

- **Photovoltaïque**
  - ◆ Electrification sites isolés, intégration bâtiments
- **Chaleur basse température**
  - ◆ Eau chaude sanitaire, chauffage, séchage
  - ◆ Passive (architecture bioclimatique) ou active
- **Haute température (concentration)**
  - ◆ Process industriels, désalinisation, électricité, combustibles (hydrogène)
  - ◆ *Rappel: environ 40% de l'énergie finale sous forme de chaleur, surtout basse temp.*



**Capteurs: capacité installée 100 GWth soit 140 million m<sup>2</sup>.  
13 million m<sup>2</sup> installés en 2004 dont 10 en Chine!**



# ***Les centrales solaires existent!***

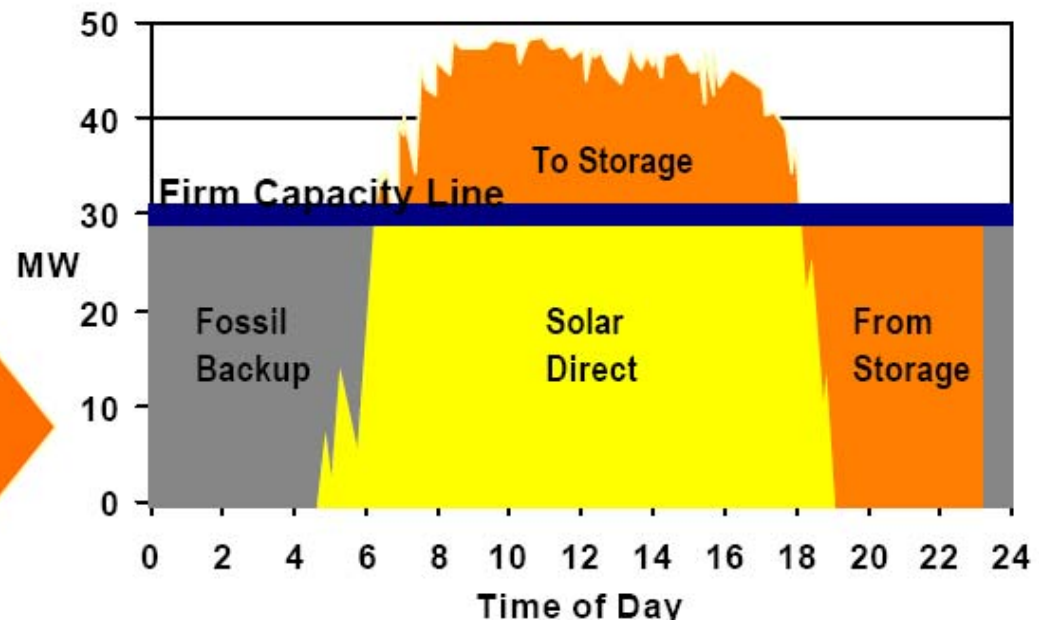
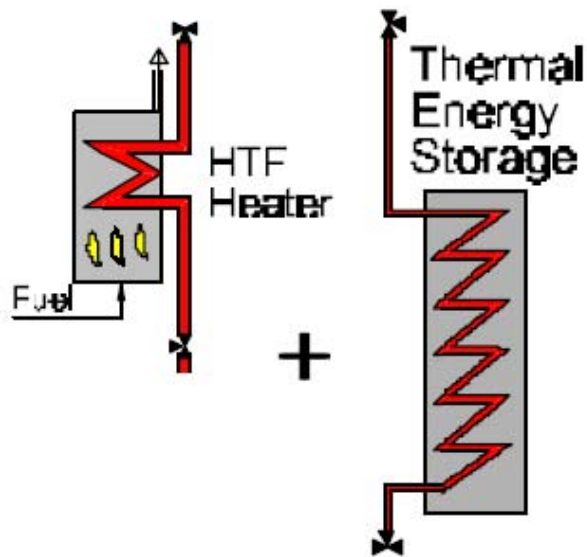
- 354 MWe depuis 84-89 sur le réseau de Los Angeles
- Electricité solaire à concentration moins chère que PV
- Nécessite un fort ensoleillement direct
- Energie garantie par stockage de chaleur ou appoint fossile
- Travaux en cours: Espagne, Etats-Unis, Iran
- Nombreux autres projets





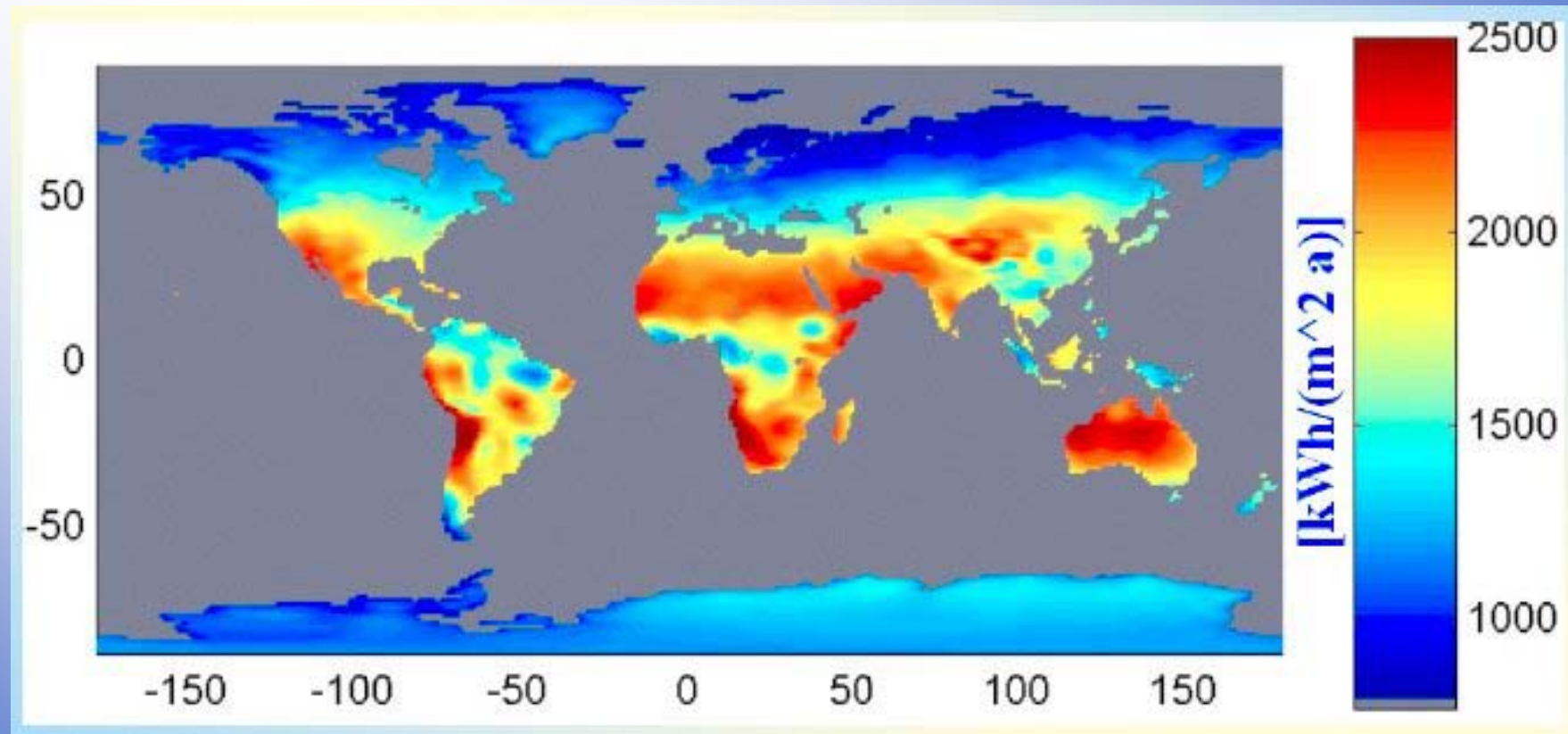
# *Des capacités garanties*

## *Stockage chaleur ou appoint fossile*





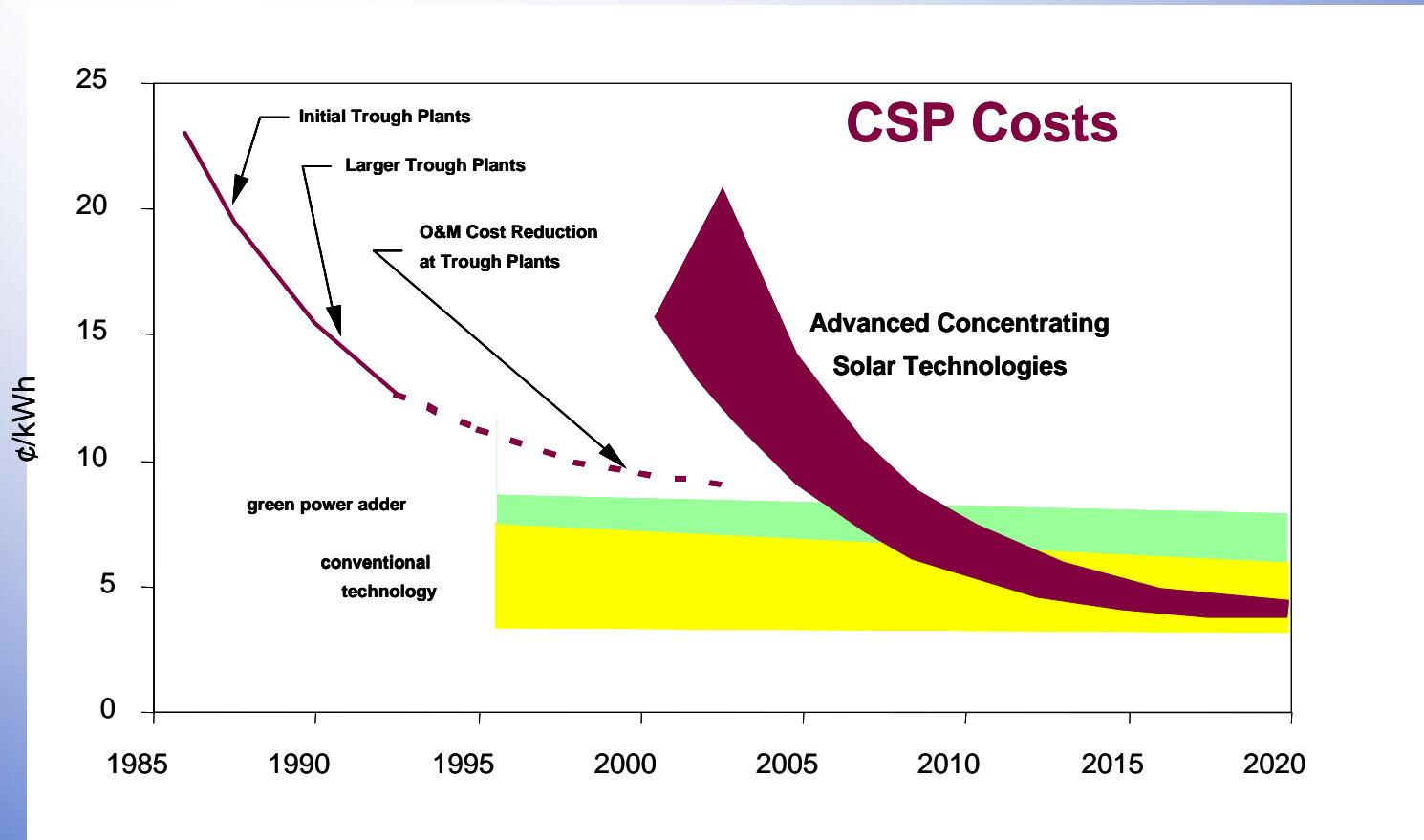
# *Une abondance mal répartie*



**Concentrée dans les pays sans objectif Kyoto!**



# Courbe d'apprentissage...

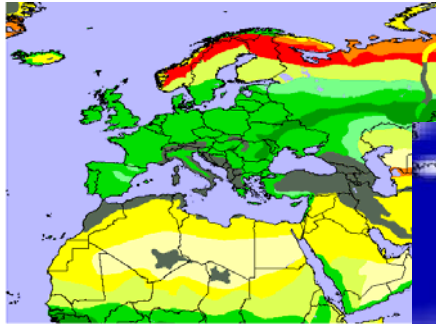




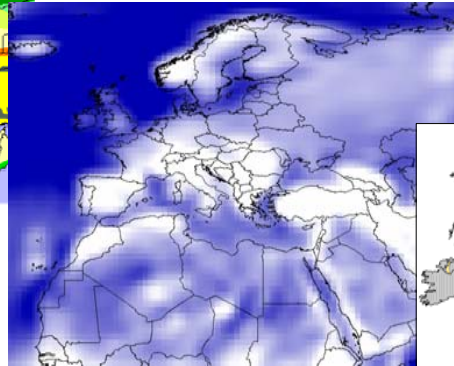
# Cartographie des ressources L'étude MED-CSP du DLR



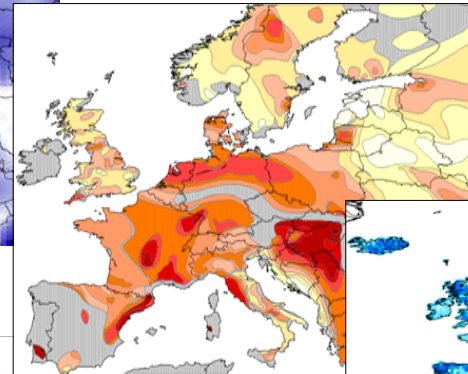
Biomass



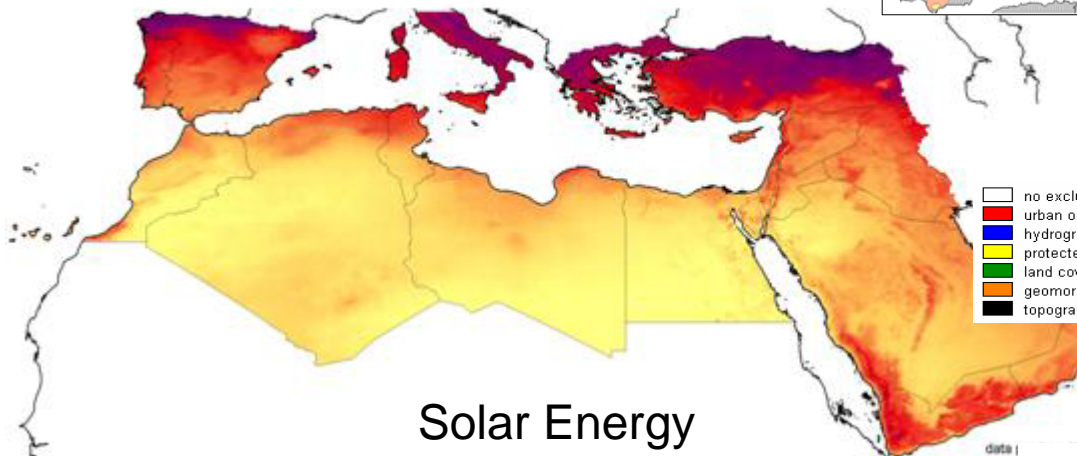
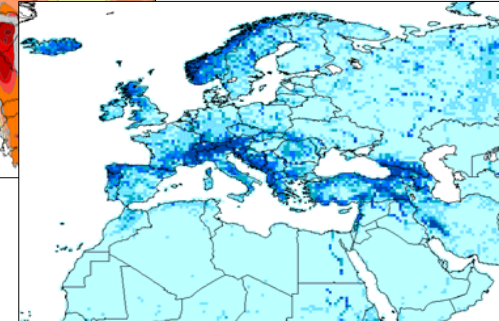
Wind Energy



Geothermal Energy

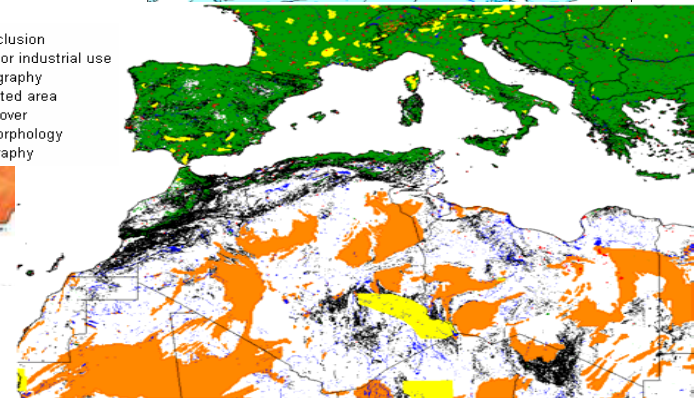


Hydropower



Solar Energy

- no exclusion
- urban or industrial use
- hydrography
- protected area
- land cover
- geomorphology
- topography



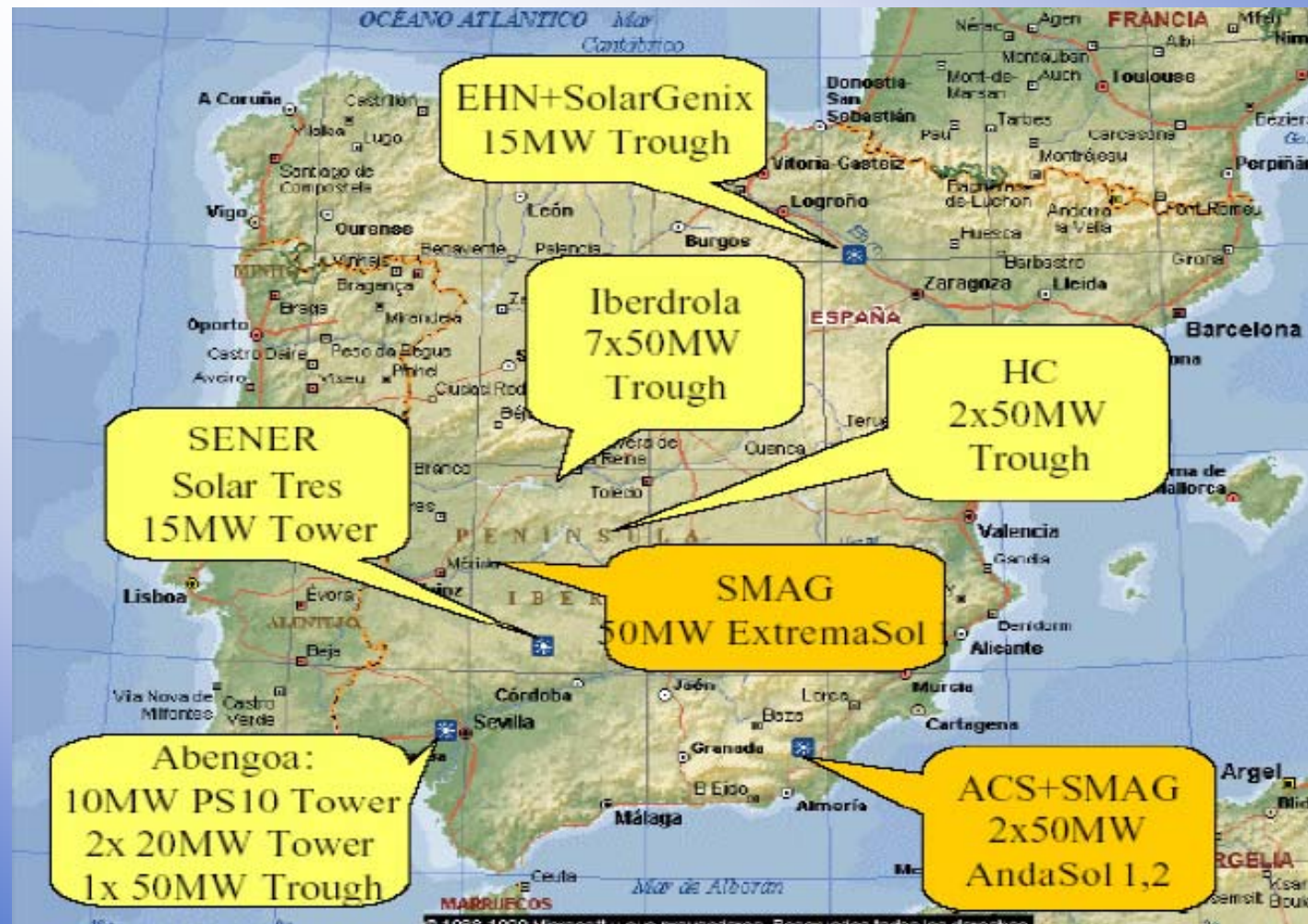
# Potentiel par pays (TWh/y)

Chypre	20	Algérie	168972	Iran	20000	Arabie Saoudite	124560
Grèce	4	Egypte	73656	Iraq	28647	Bahrain	33
Espagne	1278	Lybie	139477	Israël	318	EAU	1988
Italie	7	Maroc	20146	Liban	14	Kowait	1525
Malte	2	Tunisie	9244	Jordanie	6429	Oman	19404
Portugal	142			Syrie	10210	Qatar	792
				Turquie	131	Yemen	5100
Europe du Sud	1453	Afrique du Nord	<b>411495</b>	Asie de l'Ouest	<b>65749</b>	Péninsule arabique	<b>153402</b>

**Consommation électrique de la région en 2050: 3500-6000 TWh/an**



# L'Eldorado espagnol





## ***Attention travaux***

**En construction: Une centrale de 68 MWe « tout solaire » aux USA (Nevada)...**



The site of the Yazd ISCC Plant:



It calls for the Solar Collectors to be installed

**... une centrale intégrée solaire gaz cycle combinée en Iran**



## *Le solaire exporté?*



**Via des lignes modernes à courant continu**



# Trois

- La dynamique de l'énergie et la stabilisation du climat
- Les technologies disponibles
  - ◆ *Zoom sur l'énergie solaire*
- Les politiques de changement technique
  - ◆ *Zoom sur les échanges de permis*
- Elargir et approfondir l'action
  - ◆ *Gérer les incertitudes*



# Le changement technique

- **Changement technique, comportement et prix**
  - ◆ Des améliorations techniques peuvent conduire à des effets rebonds; le prix influence technologies ET comportements
  - ◆ Compétitivité: certaines techniques propres ne deviendront pas compétitives en tant que sources d'énergie (exemple: stockage et capture du CO<sub>2</sub>)
- **Processus d'apprentissage**
  - ◆ Efforts de R&D nécessaires mais insuffisants
  - ◆ Nécessité d'ouvrir des marchés aux entrepreneurs pour accélérer l'apprentissage et réduire les coûts



# Mondialisation du débat

- **Diffusion et transfert de technologies**
  - ◆ **La mondialisation:**
    - Accélère le développement, les émissions et la rotation du capital technique
    - Crée un contexte favorable aux transferts de technologies bonnes ou mauvaises
  - ◆ **Les « fuites » vs. la diffusion technologique**
- **La collaboration technologique internationale**
  - ◆ L'expérience de l'AIE
  - ◆ Les nombreux accords bilatéraux
  - ◆ Les récentes initiatives américaines



# Les politiques publiques

- R&D: le financement public diminue
- Les mécanismes de subventions
  - ◆ Incitations fiscales et tarifs d'achat
- Standards, normes:
  - ◆ L'approche européenne: les technologies disponibles
  - ◆ L'approche américaine: le pari du forçage technologique
- Les taxes, les systèmes de permis d'émissions, portfolios et certificats



## L'exemple de l'UE

- Directive électricité renouvelable
- Directive réglementation thermique des bâtiments
- Directive taxation minimale carburants
- Directive biocarburants
- Accords volontaires négociés avec les constructeurs automobiles
- Directive échange de permis
- Directive Efficacité énergétique



# Politiques nationales et coordination internationale

- Les politiques au plan local, national et internationales ne sont pas forcément identiques, mais...
  - ◆ Il est difficile de comparer des approches foncièrement différentes
  - ◆ Les préoccupations de compétitivité et d'équité sont importantes
  - ◆ Le climat est un bien public mondial: sa production 'isolée' n'est pas optimale
- Les instruments des politiques nationaux et objets de la négociation internationale s'influencent réciproquement



## **Le changement technique dans la négociation climatique**

- **Des protocoles technologiques?**
  - ◆ Normes: centrales et combustibles zéro emission
  - ◆ Incertitudes technologiques. Crédibilité, coûts.
- **Associer la coopération technologique et prise d'objectifs d'émissions**
  - ◆ Peut fonctionner avec certains pays en développement, pas avec les Etats-Unis
- **L'harmonisation des standards technologiques**
  - ◆ Peut accélérer ou ralentir les processus



## **Le changement technique dans la négociation climatique (2)**

- **Partager les investissements d'apprentissage**
- **Evoluer des mécanismes de projet vers les échanges de permis d'émissions**
  - ◆ **FEM, FSCC: argent public uniquement**
  - ◆ **MDP: coûts de transaction, fuites d'émission, incitations perverses**
  - ◆ **Echanges de permis d'émissions: un vecteur potentiel de transferts de technologies**



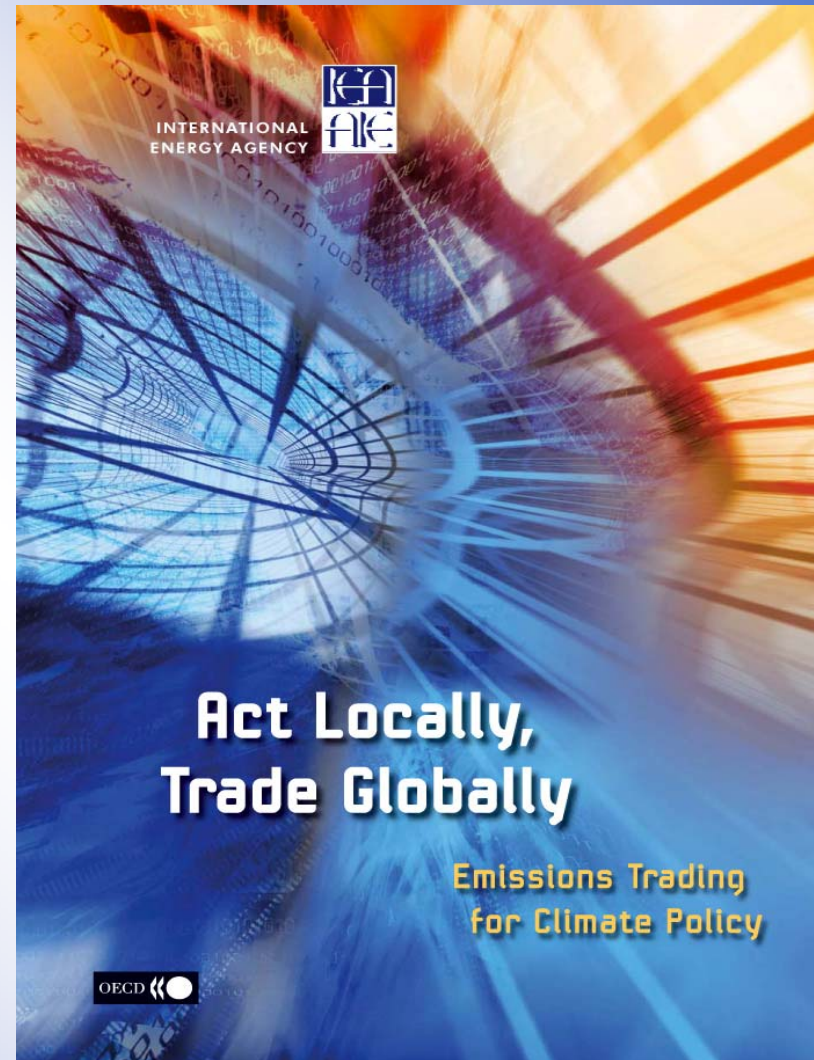
# L'efficacité économique

- Les instruments économiques (permis, taxes, réduisent les coûts de court terme
- Mais les technologies nouvelles peuvent justifier un surcoût transitoire (investissements d'apprentissage)
- D'autres déterminants que le climat justifient également des coûts différents
- Des instruments spécifiques semblent préférables à des restrictions arbitraires



# *Zoom sur les permis*

- **Efficacité économique**
  - ◆ A long terme, augmente l'efficacité environnementale
- **Avantages politiques**
  - ◆ Mobilise finances privées et publiques
  - ◆ Préserve les intérêts acquis et la profitabilité des industries exposées (grandfathering)
  - ◆ Au plan international, autorise la différenciation des objectifs – faire payer les (riches) pollueurs...
- **Gèrent difficilement les incertitudes sur les coûts**





# *Kyoto et ses mécanismes*

- **Demande anticipée: 4 à 5.5 GtCO<sub>2</sub> sur 2008-2012**
  - **Mécanismes de projet: MDP > 500 MtCO<sub>2</sub> ; AC?**  
Suscitent beaucoup d'intérêt. Plus de 3 milliards de dollars dans des fonds gouvernementaux et privés pour acquérir des réductions d'émissions
  - **Pour le reste: échanges de permis selon l'Article 17.**  
Un accord généreux: les économies en transition détiennent assez de permis excédentaires pour satisfaire la demande internationale. Pourront-ils/voudront-ils vendre?
  - **L'essentiel des transactions nettes dans Kyoto: d'un gouvernement à l'autre. Faut-il acheter de l'air chaud à la Russie et à l'Ukraine? Les "schémas d'investissement verts"**
- **Le défi: faire des transactions internationales de CO<sub>2</sub> un signal économique pour des millions d'utilisateurs d'énergie et d'autres sources au niveau domestique**



# ***Les systèmes domestiques***

- **Les systèmes d'échange de permis CO<sub>2</sub>**
  - ◆ **Le système européen (EU ETS)**
  - ◆ **Norvège**
  - ◆ **Chicago Climate Exchange (international, volontaire)**
  - ◆ **A l'examen: Canada, Corée, Japon, Nouvelle-Zélande, (Etats des) Etats-Unis, Territoires australiens**
  - ◆ **Les expériences pilotes de BP Shell**
- **Lier entre eux les divers systèmes est possible techniquement et serait économique efficace**
  - ◆ **Mais des différences de prix peuvent susciter des difficultés politiques**



# *Le système européen*

- **Le système le plus ambitieux**
  - ◆ Inclut 11 500 installations dans 25 pays: électricité, acier, ciment, papier, etc.: 45% des émissions de l'Union (2.2 Gt)
  - ◆ Allocations par les gouvernements, revues par la Commission
  - ◆ Un marché actif, des prix variant de 8 à 31 €/tCO<sub>2</sub>
- **Un système qui ne semble pas sans défaut:**
  - ◆ Les réserves pour nouveaux entrants, et l'élimination des permis en cas de fermeture d'installation, concentrent les incitations sur une base très étroite
  - ◆ La renégotiation fréquente des allocations n'encourage pas des réductions ambitieuses ni ne fournit les incitations à long terme nécessaires



## ***Au-delà de l'industrie***

- ◆ **Le prix du CO<sub>2</sub> devrait s'appliquer à toutes les sources**
- ◆ **Les 'offsets': faire payer l'industrie pour tous?**
- ◆ **Allocation 'en amont' aux producteurs et importateurs de combustibles fossiles**
  - **Trouver des moyens crédibles de retourner la rente au public (cf. les profits "indûs" du EU ETS)**
  - **Evaluer les failles des marchés: d'autres mesures pour aider les consommateurs à s'adapter au prix**
- ◆ **Viser d'autres maillons de la chaîne:**
  - **E.G. allouer les permis aux constructeurs auto**



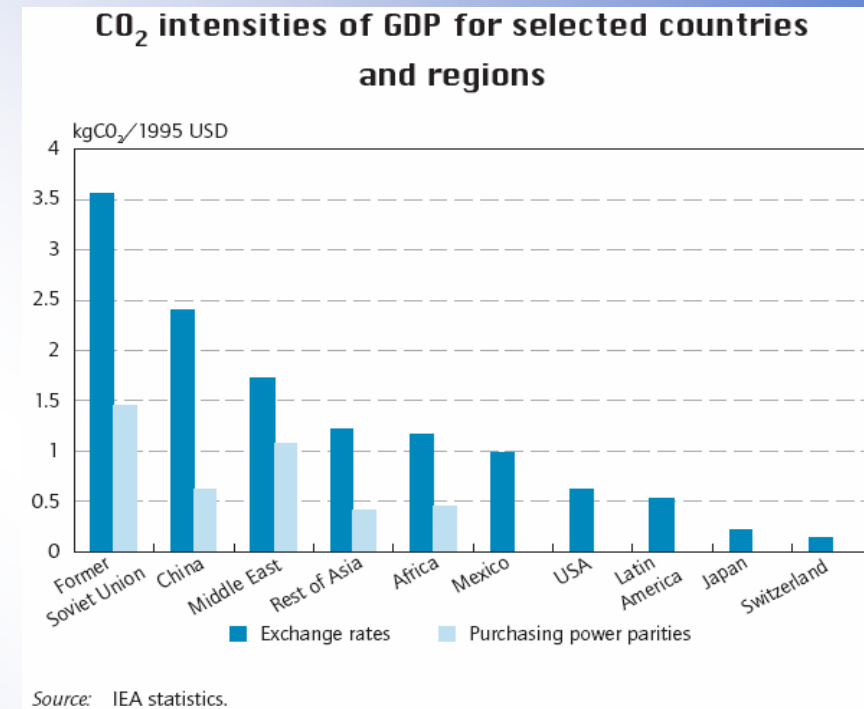
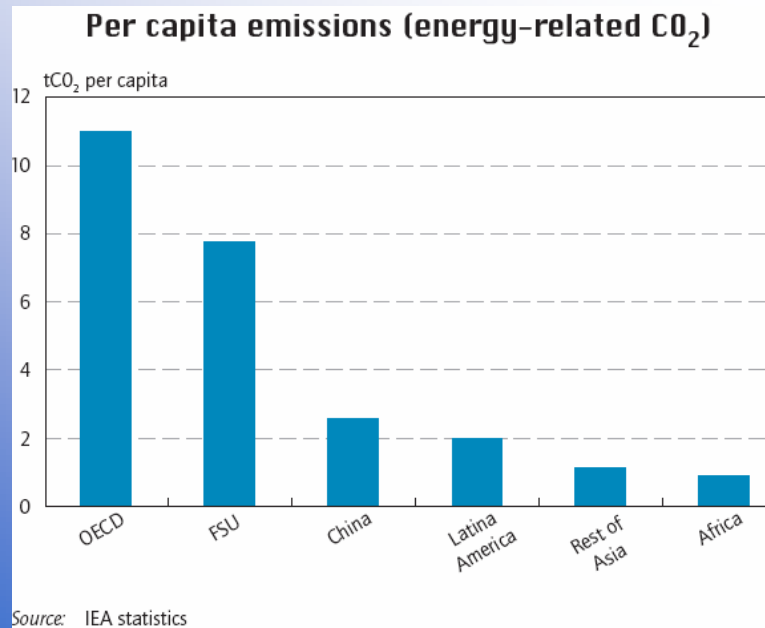
# Quatre

- La dynamique de l'énergie et la stabilisation du climat
- Les technologies disponibles
  - ◆ *Zoom sur l'énergie solaire*
- Les politiques de changement technique
  - ◆ *Zoom sur les échanges de permis*
- Elargir et approfondir l'action
  - ◆ *Gérer les incertitudes*



# L'énergie dans les PED

Intensités CO<sub>2</sub> élevées et développement à neuf des infrastructures suggèrent réductions d'émissions peu coûteuses...



... mais les niveaux d'émissions par tête et la pauvreté les rendent inabordables localement



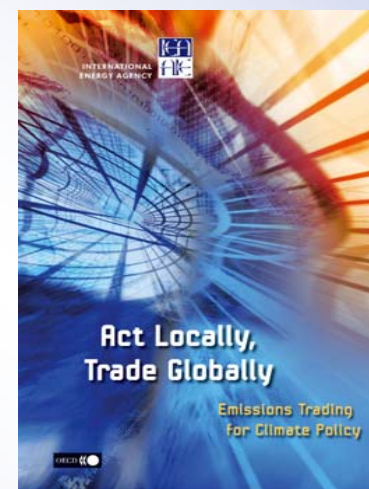
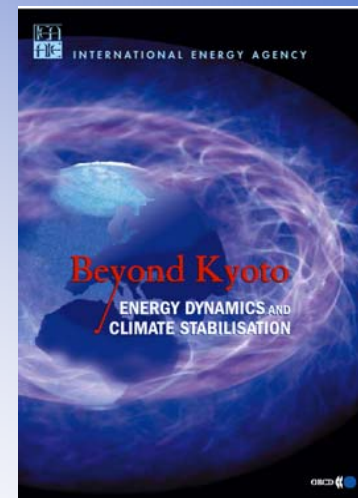
# Les Etats-Unis

- **Une prise de conscience croissante**
  - ◆ Jusqu'aux évangélistes
- **Action des Etats, Villes, du privé...**
  - ◆ Californie, RGGI: permis CO<sub>2</sub> pour la production d'électricité
  - ◆ Californie: réglementer les automobiles
  - ◆ Obligations d'énergie renouvelables
- **Initiatives parlementaires**
  - ◆ Négocier au plan international sérieusement
  - ◆ Créer un système fédéral d'échange de permis
- **L'action domestique: un préalable au réengagement international**



# Elargir et approfondir

- Options pour une plus large participation (pays industrialisés et en développement)
  - ◆ Objectifs dynamiques: les montants alloués indexés sur la croissance économique
  - ◆ Objectifs non-contraignants: permettent de vendre, n'obligent pas à acheter (PED)
  - ◆ Prix plafond: des permis supplémentaires à un prix donné (PI); plusieurs prix possibles
- Point commun: la gestion de l'incertitude
- Approche pragmatique pour PED
  - ◆ Tenir compte des réalités institutionnelles et énergétiques (*attention à la biomasse!*)
  - ◆ Objectifs ou mécanismes créditeurs sectoriels





# Gérer les incertitudes

- La certitude sur les niveaux d'émissions à court terme peut être coûteuse mais a une valeur faible
  - ◆ Parce que le changement climatique est un problème de stock
- Les prix plafond réduisent les coûts espérés
  - ◆ Aidant à entraîner plus de pays dans l'action
  - ◆ Permettant des politiques plus ambitieuses
- Avec les prix plafonds des objectifs plus ambitieux peuvent être choisis qui ont des coûts espérés plus faibles et des bénéfices espérés plus importants
  - ◆ Utile si les bénéfices sont profondément incertains



# Gérer les incertitudes

- Et en cas de catastrophes climatiques?
  - ◆ Si un seuil de concentration de GES est connu et proche:
    - Il faut choisir des objectifs fixes pour arrêter les émissions
  - ◆ Si une catastrophe est possible mais le seuil inconnu:
    - Il faut favoriser la politique la plus ambitieuse
- Comment aller vers la stabilisation?
  - ◆ Le niveau et le calendrier n'ont pas été arrêtés
    - Il faut s'assurer du niveau d'action, pas de son résultat exact
    - Il faut favoriser la politique la plus ambitieuse
    - Avec le temps, on peut ajuster le niveau des objectifs et des prix plafonds



# Conclusion: après 2012, transformer Kyoto

## ● Garder Kyoto tel quel?

- ◆ Allocations globales immédiates peu réalistes
- ◆ Insertion progressive des PED trop lente
- ◆ Peu de chances d'amener les USA dans le jeu

## ● Rejeter Kyoto?

- ◆ Taxes carbone politiquement difficiles
- ◆ Protocoles technologiques peu crédibles
- ◆ Collaborations technologiques insuffisantes

## ● Garder les permis:

- ◆ Efficaces
- ◆ Prévus par les industries
- ◆ Les pays riches paient
- ◆ Argent public & privé

## ● Gérer l'incertitude:

- ◆ Indexer objectifs/GDP réel
- ◆ Prix plafonds (PI)
- ◆ Objectifs non contraignants (PED)