

# Géopolitique de l'énergie

## Généralités

Objectifs du cours

Un peu d'histoire

Instances nationales et internationales, associations...

Etat des lieux mondial et national

Populations

Production et Consommation d'énergie

Etats des réserves de sources d'énergie fossiles, Potentialité des ENR

Notions sur la problématique Effet de serre - Changement climatique

Etat de l'art des Nouvelles Technologies de l'Energie

Stratégies énergétiques mondiales et nationales dans un contexte économique et politique

# Géopolitique de l'énergie

## Généralités

- Objectifs du cours

- Un peu d'histoire

- Instances nationales et internationales, associations...

## Etat des lieux mondial et national

- Populations

- Production et Consommation d'énergie

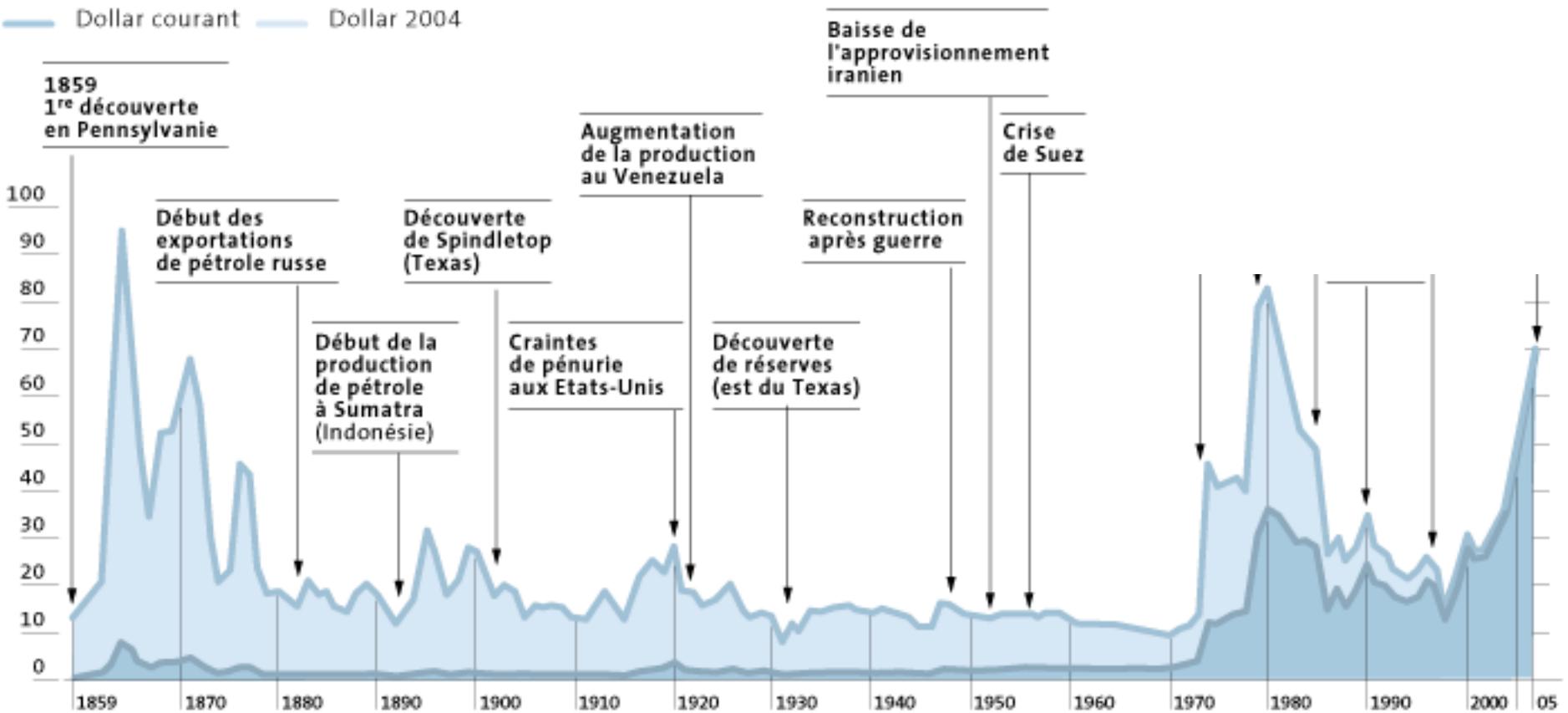
- Etats des réserves de sources d'énergie fossiles, Potentialité des ENR, Etat de l'art des Nouvelles Technologies de l'Energie

Notions sur la problématique Effet de serre - Changement climatique

Stratégies énergétiques mondiales et nationales dans un contexte économique et politique

# Un peu d'histoire...

EVOLUTION DU PRIX DU PÉTROLE, en dollars/baril



Source : BP Statistical Review of World Energy (juin 2005)

# Etats des réserves de sources d'énergie fossiles

- Pétrole
  - Gaz
  - Charbon
  - Uranium
- Calculs des réserves mondiales
  - Répartition mondiale
  - « Pic » et perspectives

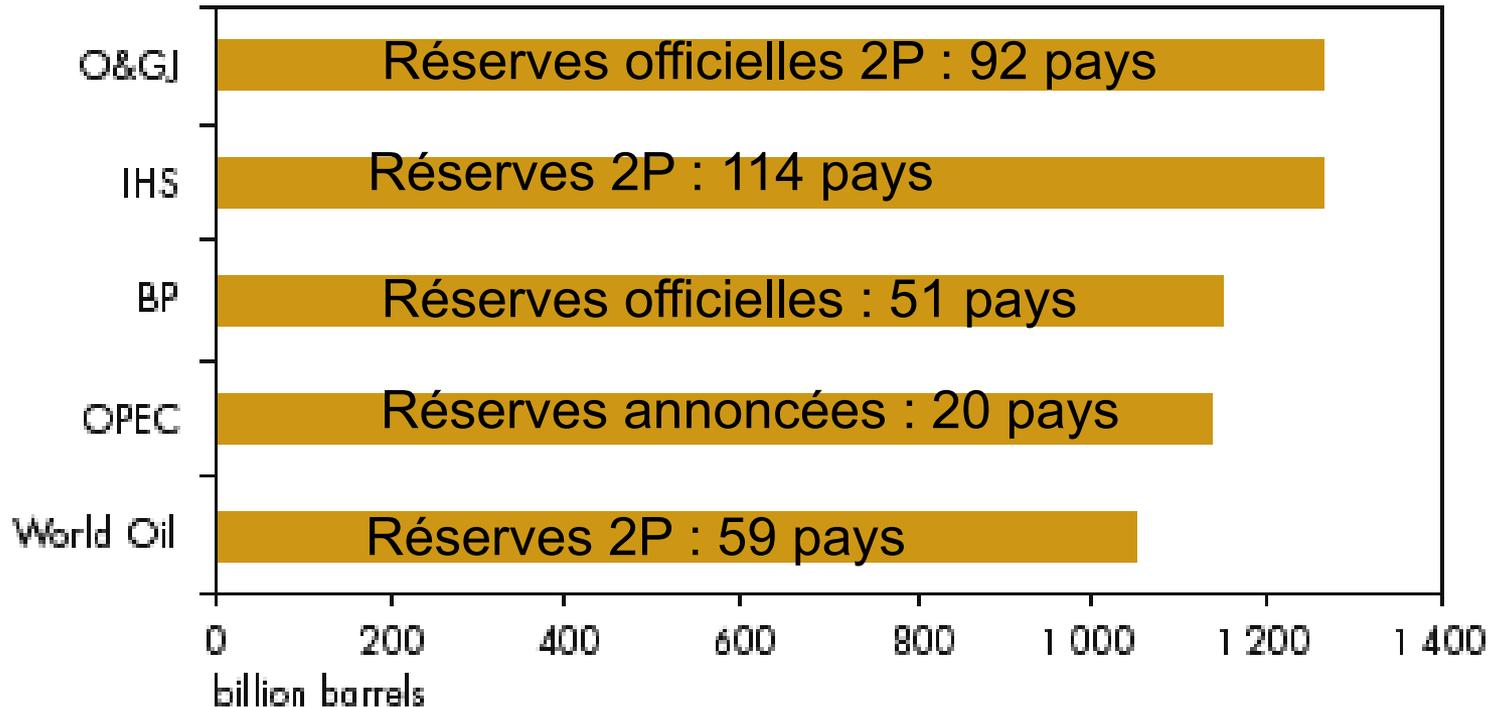
# Pétrole: calculs des réserves

- **Ressources** = quantités totales présentes dans les champs découverts et à découvrir dans la région considérée sans aucune considération technique ou économique.
- **Réserves** = quantités que l'on espère extraire des gisements et exploiter de manière rentable dans un avenir proche.
- **taux de récupération** = passage de ressource à réserve.

# Réserves de pétrole

ASPO : réserves 1P : 67 pays

IFP : 97 pays

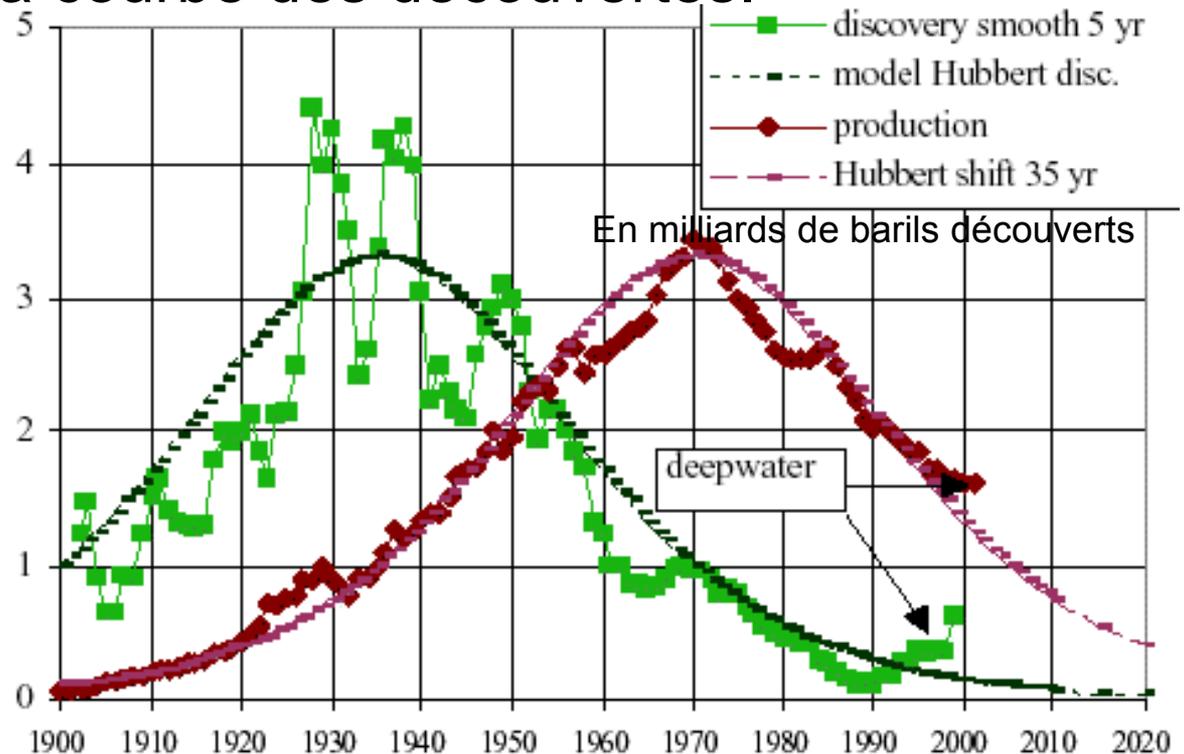


Source: WEO-2004, IEA

Evaluation des réserves de différentes sources

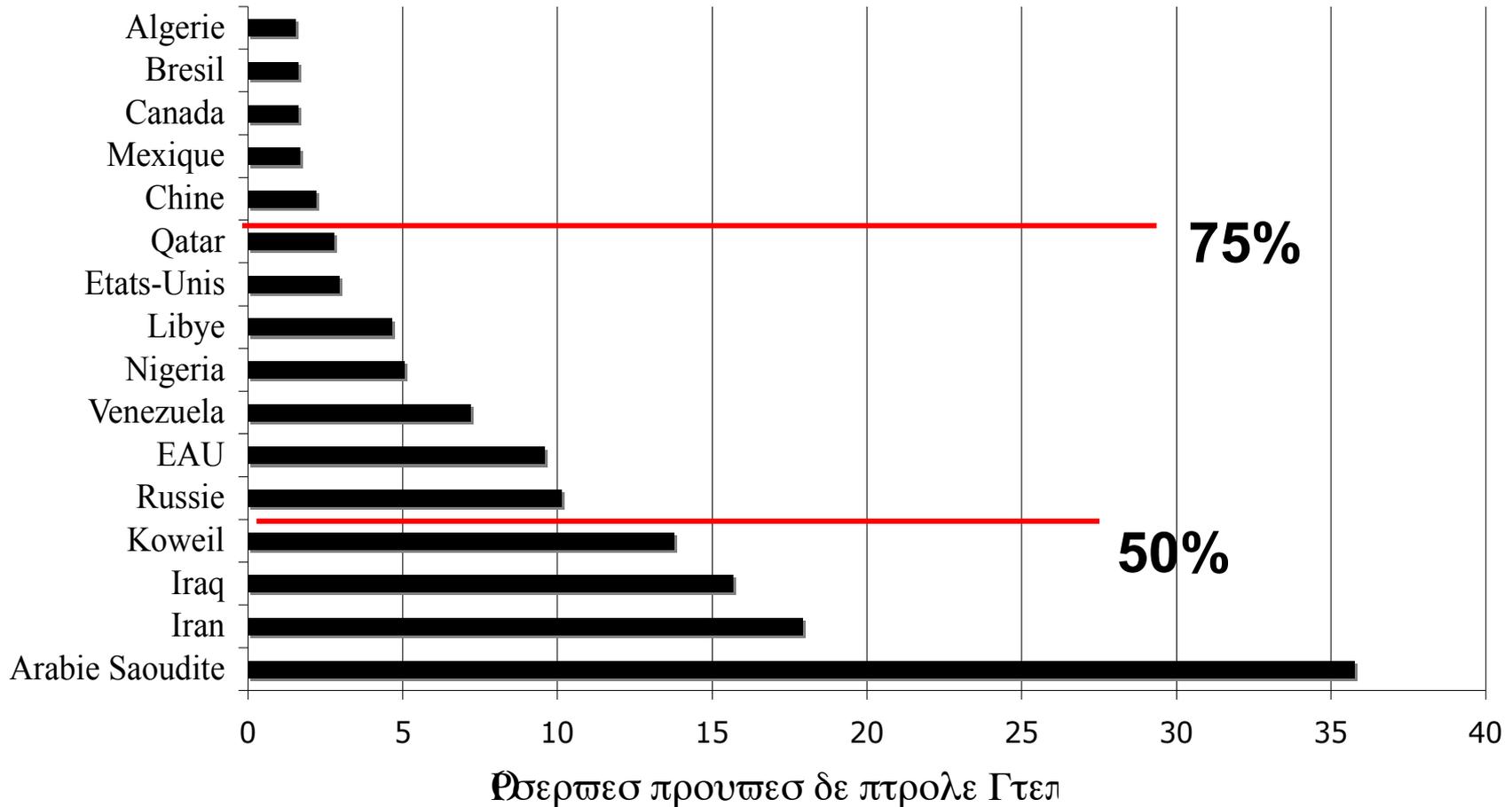
# Pétrole : Pic pétrolier

- "pic de production" : maximum historique de production pétrolière
- Les "pessimistes" se basent sur le modèle USA : la courbe de la production suit, avec un décalage constant (35 ans dans le cas des Etats Unis), la courbe des découvertes.



# Réserves de pétrole

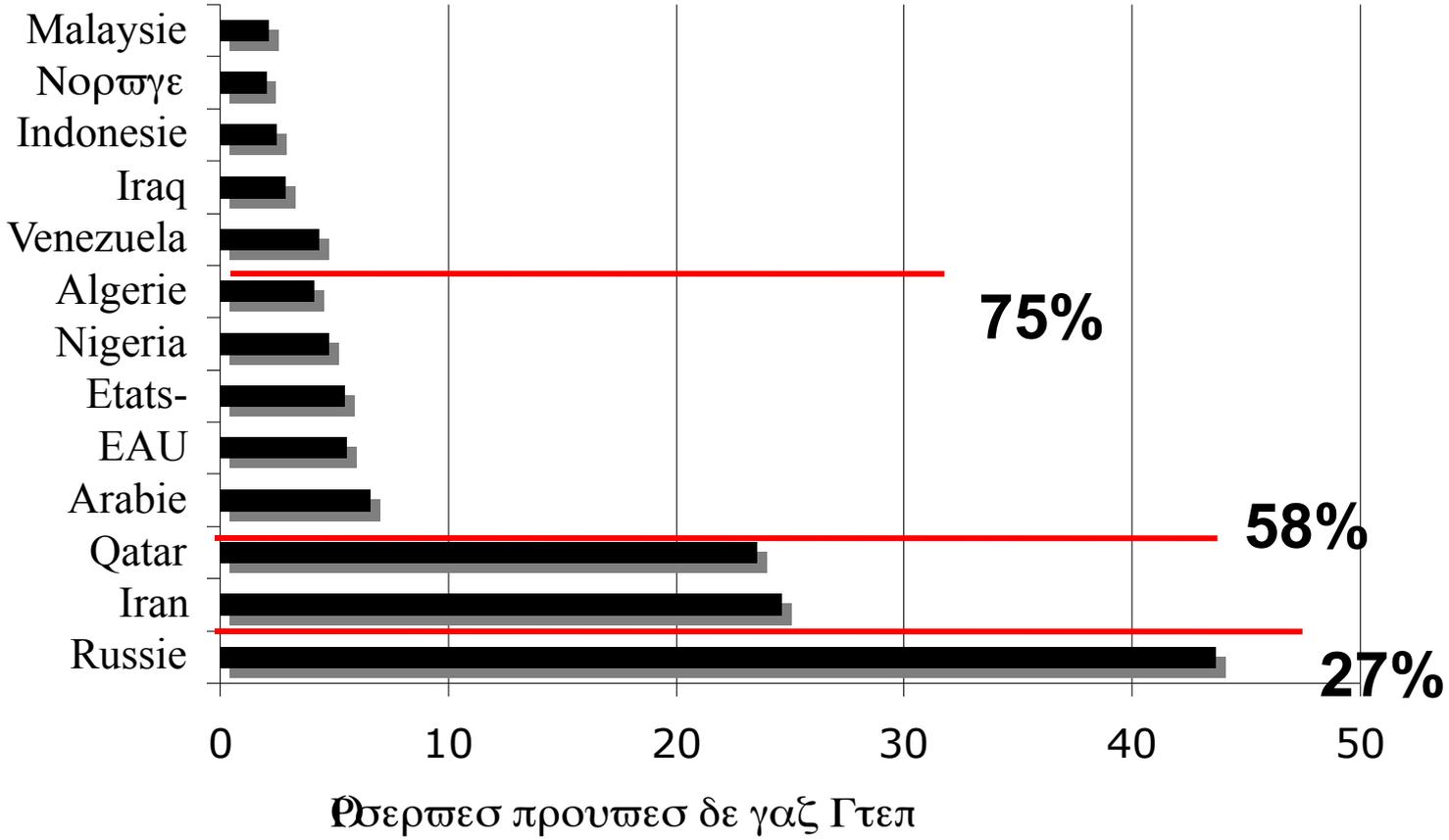
Données adaptées du DOE - 2008



**3/4 des réserves prouvées dans 11 pays -  
Film "Le Monde - Afrique"**

Etat des lieux - Réserves

# Réserves : Gaz

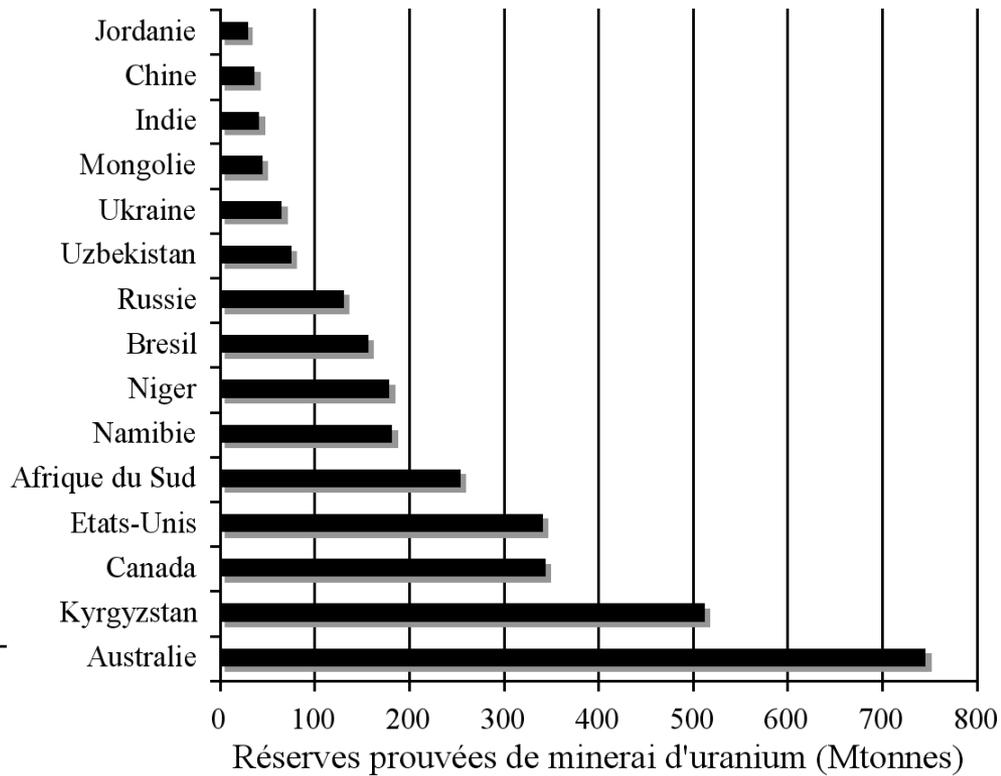
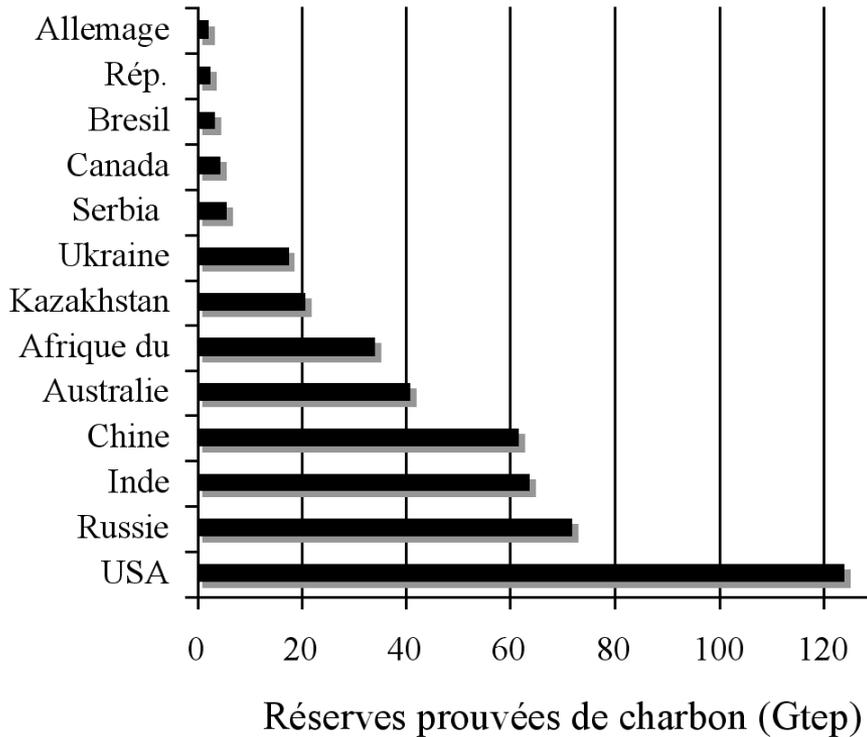


3/4 dans 8 pays

90% dans 20 pays

Source : Données adaptées de DOE - 2008

# Réserves : Charbon - Uranium



# Réserves - Monde

- Energies non renouvelables bilan -

<i>Source</i>	<b>Πτρωλε</b>	<b>Gaz</b>	<b>Charbon</b>	<b>Νυχλαire Fission</b>	<b>Νυχλαire Fusion</b>	<b>Total</b>
<i>Monde</i>	<b>34%</b>	<b>20%</b>	<b>22%</b>	<b>7%</b>	<b>0%</b>	<b>83%</b>
<i>France</i>	<b>35%</b>	<b>15%</b>	<b>4%</b>	<b>38%</b>	<b>0%</b>	<b>93%</b>
<i>P serves prouv εσ (Gtep)</i>	<b>150</b>	<b>140</b>	<b>360</b>	<b>170</b>		
<i>P serves ultimes (Gtep)</i>	<b>313</b>	<b>333</b>	<b>2000</b>			
<i>P serves (ans) consomm. actuelle</i>	<b>Prouv εσ 44 Ultimes 92</b>	<b>Prouv εσ 70 Ultimes 160</b>	<b>Prouv εσ 160 Ultimes</b>	<b>Prouv εσ 240 (X50) Ultimes</b>		

# Coûts externes

	Charbon	Pétrole	Gaz	Bois	Nucléaire	Hydraulique	Solaire	Eolien
Coûts directs en m€ / kWh	32-50	50	26-35	34-43	34-59		512-853	70
Coûts externes pour la production d'électricité en m€ / kWh	41 - 58	48	16		1,9	0,5	2,8	0,1

Coûts directs (ligne 2) pour la production d'électricité dans l'Union Européenne (AIEN) et coûts externes (lignes 3 et 4) liés aux dommages environnementaux et sanitaires pour la production d'électricité à partir de différents type d'énergie (Commission Européenne), en millième d'Euro.

# Etat des lieux - Conclusion

L'avenir sous fortes contraintes (disons jusqu'à 2050):

- Forte augmentation de la population
- Forts besoins en énergie
- vulnérabilité de l'approvisionnement
- déséquilibre de ressources => interdépendance de différentes zones géographique => conflits
- raréfaction sensible et rapide du pétrole et du gaz
- *accélération de la dérive climatique*

Et de fortes incertitudes

=> Grande inertie du système énergétique mondial et des phénomènes de dérive climatique

# Géopolitique de l'énergie

## Généralités

- Objectifs du cours

- Un peu d'histoire

- Instances nationales et internationales, associations...

## Etat des lieux mondial et national

- Populations

- Production et Consommation d'énergie

- Etats des réserves de sources d'énergie fossiles, Potentialité des ENR

- Notions sur la problématique Effet de serre - Changement climatique

## Etat de l'art des Nouvelles Technologies de l'Energie

- Stratégies énergétiques mondiales et nationales dans un contexte économique et politique

# Prospective Consommation - Monde

- Entre 2000 et 2050, sans nouvelles réglementations => consommation X 2
- Solutions ?

# Prospective Consommation - Monde

- Entre 2000 et 2050, sans nouvelles réglementations => consommation X 2
- Solutions :
  - Maîtrise de la consommation (du citoyen vertueux à l'amélioration des rendements)
  - R et D + exploitation/ déploiement de NTE pour la production, le stockage, la distribution et l'utilisation de l'énergie

# Maîtrise consommation

- Habitat

- Transport

# Maîtrise consommation

- **Habitat**
  - Isolation habitation
    - 260kWh/m<sup>2</sup> => 50 kWh/m<sup>2</sup>, RT2005... (neuf), et l'ancien ?
  - Equipements ménagers A+
  - 15 m<sup>2</sup> de capteurs solaire thermique = Eau chaude pour une famille
  - Maison vs appartement???
  - Aménagement du territoire
    - ⇒ **Investissements**
    - ⇒ **Modes de vie**

# Maîtrise consommation

- **Transport**

1. Mesures globales

- réduction des vitesses, réduction masse véhicules
- Restrictions de circulation très efficaces et peu coûteuses
- Urbanisme et formes urbaines (réduire les distances à parcourir)
- Moyen de transports ? Pb d'intermodalité, de parking à proximité des gares...
- Marchandise => ferroutage

⇒ Certaines peuvent avoir des impacts sociaux difficiles à mesurer

- **effets économiques négatifs** : impacts sur la mobilité, sécurité, perte de temps,
- **acceptabilité???**

2. Mesures locales (à l'échelle du citoyen)

- Télétravail,
- Covoiturage, utilisation des transports en commun
- .....

# Des sources vers les vecteurs

Sources	Charbon	Pétrole	GN	Fission	Hydrau	Eolien	Solaire	Biomasse	Géoth.
Vecteurs									

# Des sources vers les vecteurs

	Charbon	Pétrole	GN	Fission	Hydrau	Eolien	Solaire	Biomas
<b>Electricité</b>	C Therm	C Therm	C Therm	C nucléaire	barrage hydraulique	éolienne	photovol.	
<b>Chaleur</b>	C Therm	C Therm	C Therm	C nucléaire			Capteur thermique	combus.
<b>Carburant liquide</b>	Gaz. + F.T.	Reformage + F.T.	Reformage + F.T.					Gaz. + F.T.
<b>Hydrogène</b>	Gaz.	Reformage	Reformage	Electrolyse HT Cycles th.	Electrolyse BT	Electrolyse BT	Electrolyse BT Photolyse	

# Nouvelles technologies de l'énergie

- Attention ≠ ENR
- nouvelles technologies de l'énergie = technologies à développer et/ou à déployer afin d'honorer les besoins énergétiques futurs compte tenu des contraintes (physiques, politiques, économiques, environnementales...) existantes.
- Difficultés :
  - déploiement
  - verrous scientifiques

**Vaporeformage** : dissociation de molécules carbonées (méthane, éthanol) par réaction de la vapeur d'eau sur un catalyseur Ni.



Pb : H<sub>2</sub> impur  
vapeur d'eau sous pression, à haute température (800°C)  
procédé CO<sub>2</sub>



**Gazéification** (charbon ou biomasse) : transformation directe des matières carbonées en un gaz de synthèse sous l'action de la chaleur



Pb : H<sub>2</sub> impur  
procédé CO<sub>2</sub>

=> R et D = membranes de purification H<sub>2</sub>



# Électrolyse basse température

## Perspectives de production sur site, stockage d'énergie intermittente

- ⇒ **Avantage : H<sub>2</sub> pur**
- ⇒ **Inconvénient : H<sub>2</sub>O pure**

⇒ **R et D :**

- 🦋 **électrolyseur alcalin : -**
  - électrolyte liquide => pb corrosion, mauvaise réponse aux variations de puissance
  - Catalyseur Nickel => peu cher

**2. électrolyseur PEM :**

- électrolyte solide, le naphion
- catalyseur platine => cher



# Électrolyse Haute Température (électrolyse en phase vapeur)

Décomposition de H<sub>2</sub>O à partir d'une source de chaleur => Valorisation de la chaleur des centrales nucléaires G4 (800°C)

=> cogénération électricité - hydrogène)

**Gain en rendement**

# Cycles thermochimiques

## Craquage de l'eau

Décomposition de  $H_2O$  par une succession de réaction chimiques à partir d'une source de chaleur

- centrale nucléaire G4 (800°C - cycle hélium)
- centrale solaire (2000°C)

**R et D : Faisabilité en labo**  
**Nouveaux matériaux**



# Fisher-Tropsch => carburants liquides

Procédé connu depuis la 2nd guerre mondiale

Procédé catalytique (cobalt) => carburant liquide à partir de gaz de synthèse ( $H_2+CO$ )

charbon : STL

biomasse : BTL

gaz naturel : GTL

R et D : amélioration du rendement

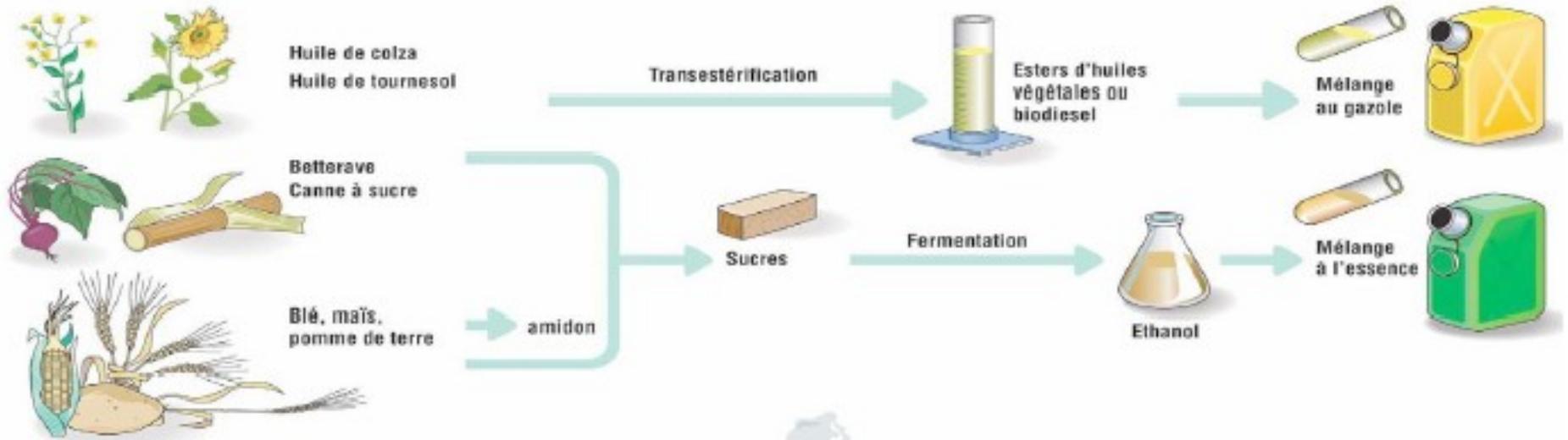
# biocarburants et carburants de substitution

Les biocarburants (carburants ex biomasse)

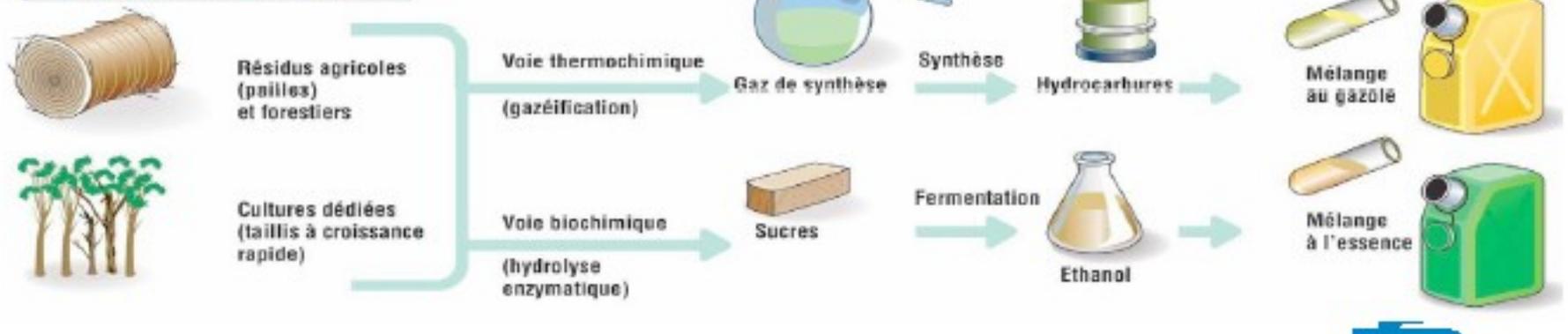
- les biocarburants de première génération. Ils sont produits à partir de matières premières alimentaires (huiles végétales, sucres et farines) ;
  - les biocarburants de deuxième génération, produits à partir de biomasse lignocellulosique (bois, cultures spécifiques, pailles, déchets végétaux)

# biocarburants et carburants de substitution

## LES FILIÈRES CLASSIQUES



## LES FILIÈRES DU FUTUR



# biocarburants et carburants de substitution

## 1. Production de gazole

En Europe le biodiesel est préparé à partir d'huile de colza. La production française de biodiesel s'établissait en 2006 à 1 MT, ce qui correspond à un taux d'incorporation d'environ 4% dans le pool gazole, inférieur à la norme européenne actuelle (5%) et à l'objectif recherché (10% à échéance).

Cette approche présente plusieurs limitations :

- le rendement ne dépasse pas 1Tep/ha/an (pour l'huile de colza)
- il y a concurrence avec d'autres cultures alimentaires, d'autant plus qu'une rotation triennale pour le colza.

# biocarburants et carburants de substitution

## 2 - Production d'éthanol : fermentation alcoolique à partir de sucre

- obtenu directement (en Europe : betterave, au Brésil : canne à sucre) ;
- obtenu après hydrolyse (généralement enzymatique) de matières amylacées (en Europe : blé tendre, aux Etats-unis : maïs) ;

L'éthanol est utilisable en mélange banalisé jusqu'à 10% et dans les véhicules dit Flex Fuel de 0 à 85%.

Les rendements varient entre 1,5 Tep/ha/an (blé) et 4 Tep/ha/an (canne à sucre).

Il faut noter que l'éthanol est introduit depuis 15 ans en France sous la forme d'ETBE;

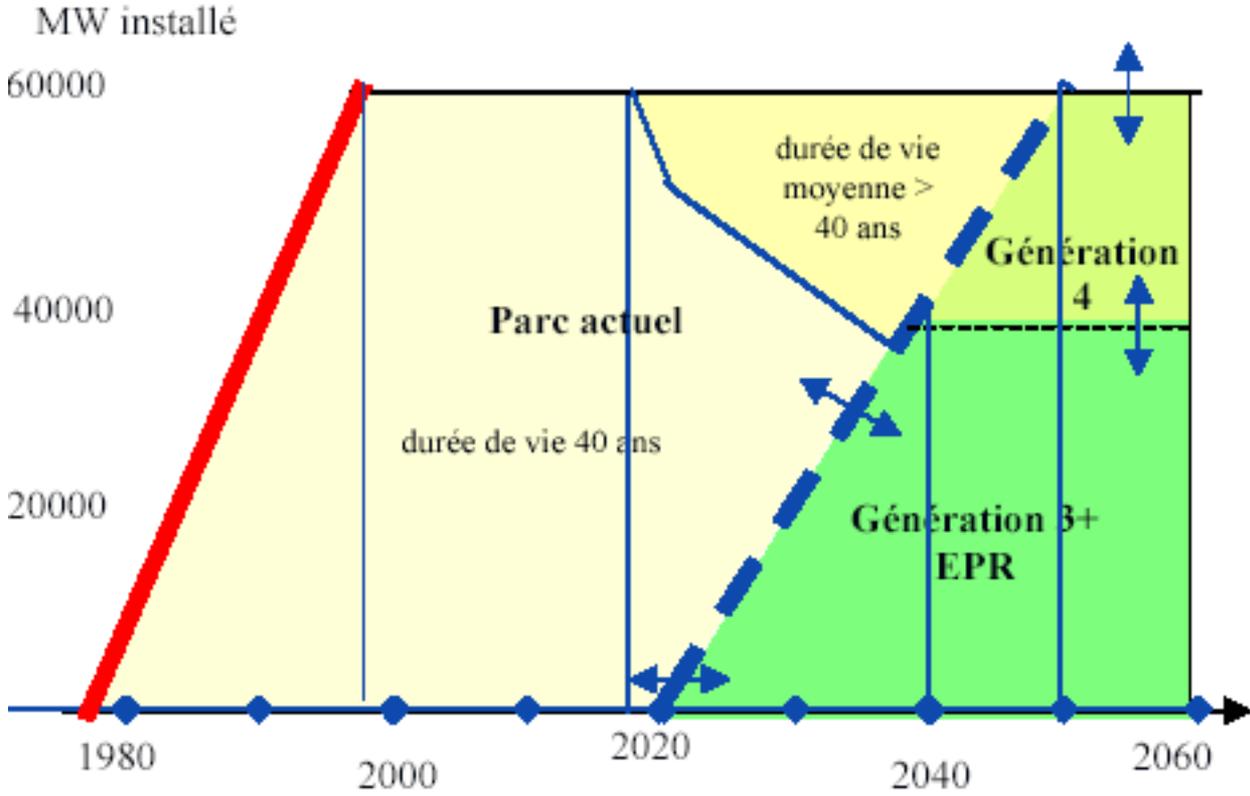
# biocarburants et carburants de substitution

## Les biocarburants de deuxième génération

- La matière première végétale "standard" est la lignocellulose, composée de lignine cellulose et hemicellulose, étroitement associées et imbriquées (exemple : le bois)
- Le pouvoir calorifique est de l'ordre de 0,4 Tep/T de matière sèche. Le rendement à l'hectare peut dépasser largement 10 T matière sèche/ha/an soit plus de 4 Tep/ha/an.
- Le problème de la concurrence alimentaire est éliminé.
- La production de carburants est plus difficile.

# Energie nucléaire (fission)

Renouvellement à 60000 MW étalé sur 30 ans (2020-2050)  
rythme de construction nucléaire 2000 MW/an



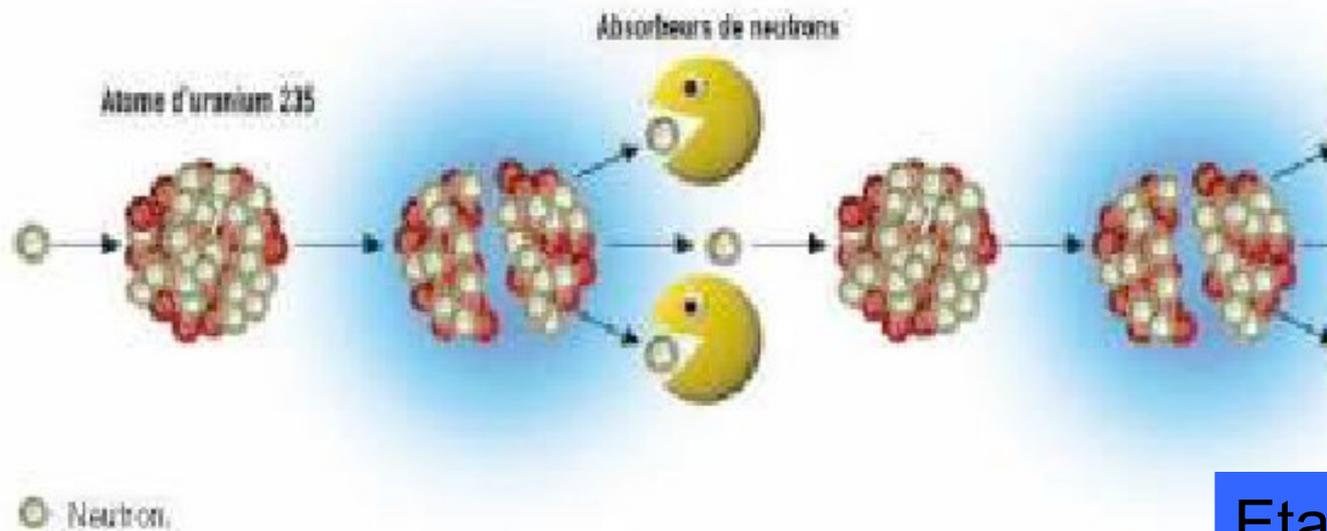
Source : Areva - EDF

# Energie nucléaire (fission G2)

- Les principaux éléments fissiles (pouvant produire une fission quand ils sont bombardés par un neutron lent) sont l'uranium 235 et le plutonium 239.
- Seul l'uranium 235 est naturel (l'uranium naturel contient 0,71 % d'U235, 99,3% d'U238).

1 Rep 900 MWe = 72,5 t Uranium enrichi initialement  
~ 360t d'uranium naturel.

Réaction en chaîne contrôlée dans les réacteurs nucléaires



# Energie nucléaire (fission G2)

Réacteurs à **neutrons lents** (appelés, improprement, réacteurs thermiques)

- Pour augmenter la probabilité qu'un neutron induise une fission => ralentir les neutrons.
- Milieu modérateur: H<sub>2</sub>O
- Fluide caloporteur: H<sub>2</sub>O

# Fission : 3<sup>ème</sup> génération : EPR (réacteur pressurisé européen)

Renouvellement du parc nucléaire actuel => 3<sup>ème</sup> génération (pas de rupture technologique)

**2000** : Finlande (mise en service prévue en 2011)

**2005** : Flamanville (Manche). => **mise en service 2012.**

**2007** : deux centrales nucléaires EPR en Chine (associé à un contrat de fourniture de combustible et de services).

**Janvier 2008** : un projet de centrale électrique nucléaire", qui serait construite à Abou Dhabi, avec "la fourniture de deux EPR de 1.600 mégawatts (chacun) ainsi que les produits et services du cycle du combustible

# Energie nucléaire (fission G4)

Les **réacteurs à neutrons rapides** (RNR) = ne pas ralentir les neutrons car l'U238 (ou le Th232) peut fissionner si il est bombardé par des neutrons rapides.

=>

## **Fluide caloporteur**

1. Non modérateur
2. Capacité à assurer un bon transfert thermique

· **SODIUM LIQUIDE (Phénix)**

combustible = 80% uranium + 20% plutonium

produit = plutonium

⇒ fabriquer de la matière fissile (surgénérateur)

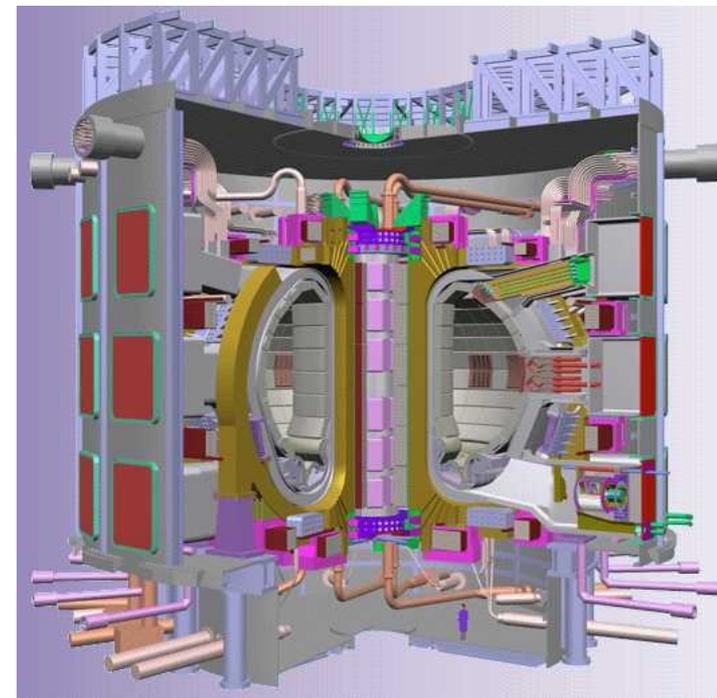
⇒ incinérer des déchets à vie longue.

# Principe de la fusion

Fusion de 2 noyaux légers (deutérium - tritium) => énergie

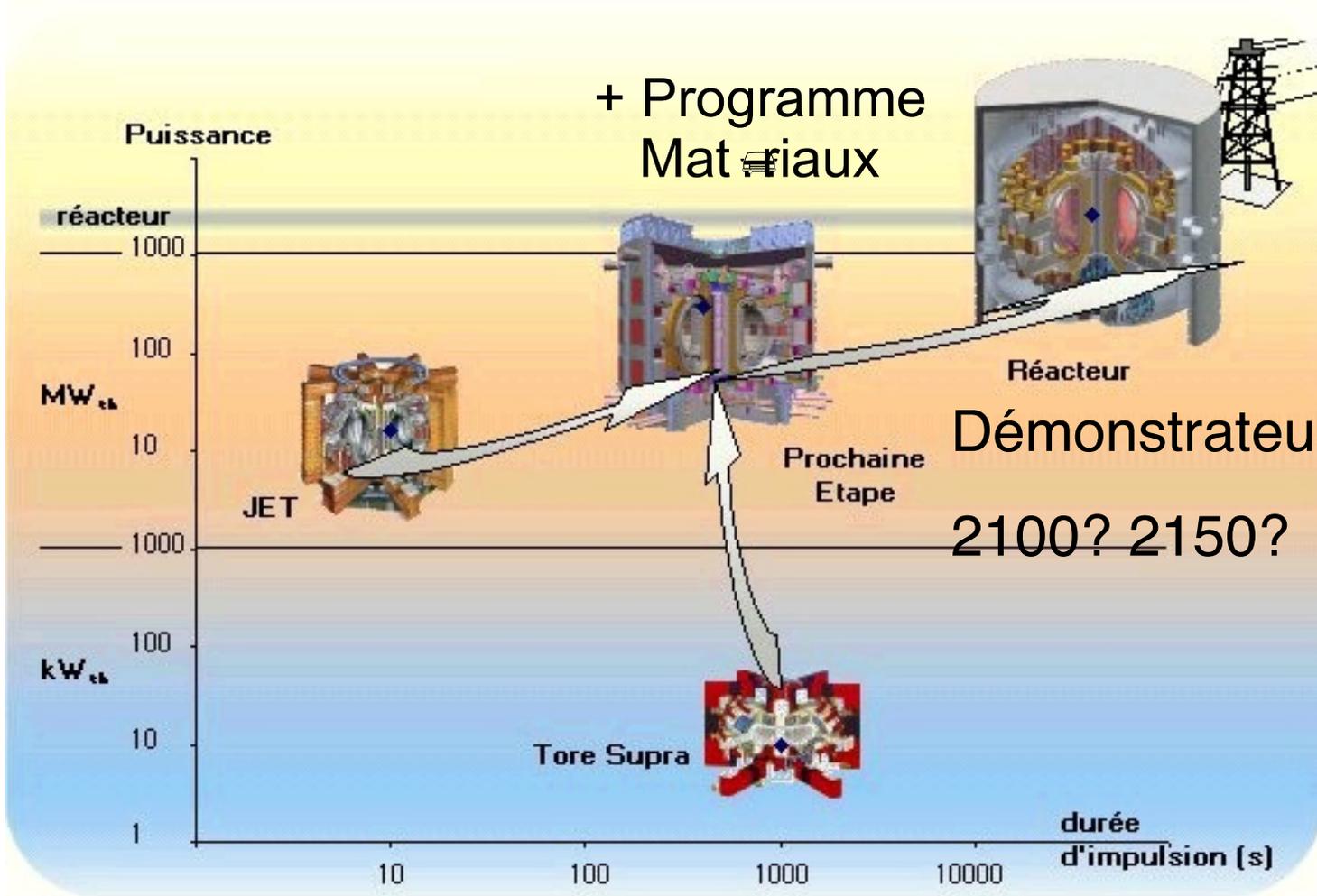
Lancer les noyaux à grande vitesse car ils sont chargés + => chauffer + compresser => plasmas

« Démontrer la faisabilité scientifique et technologique de l'énergie de fusion à des fins pacifiques »



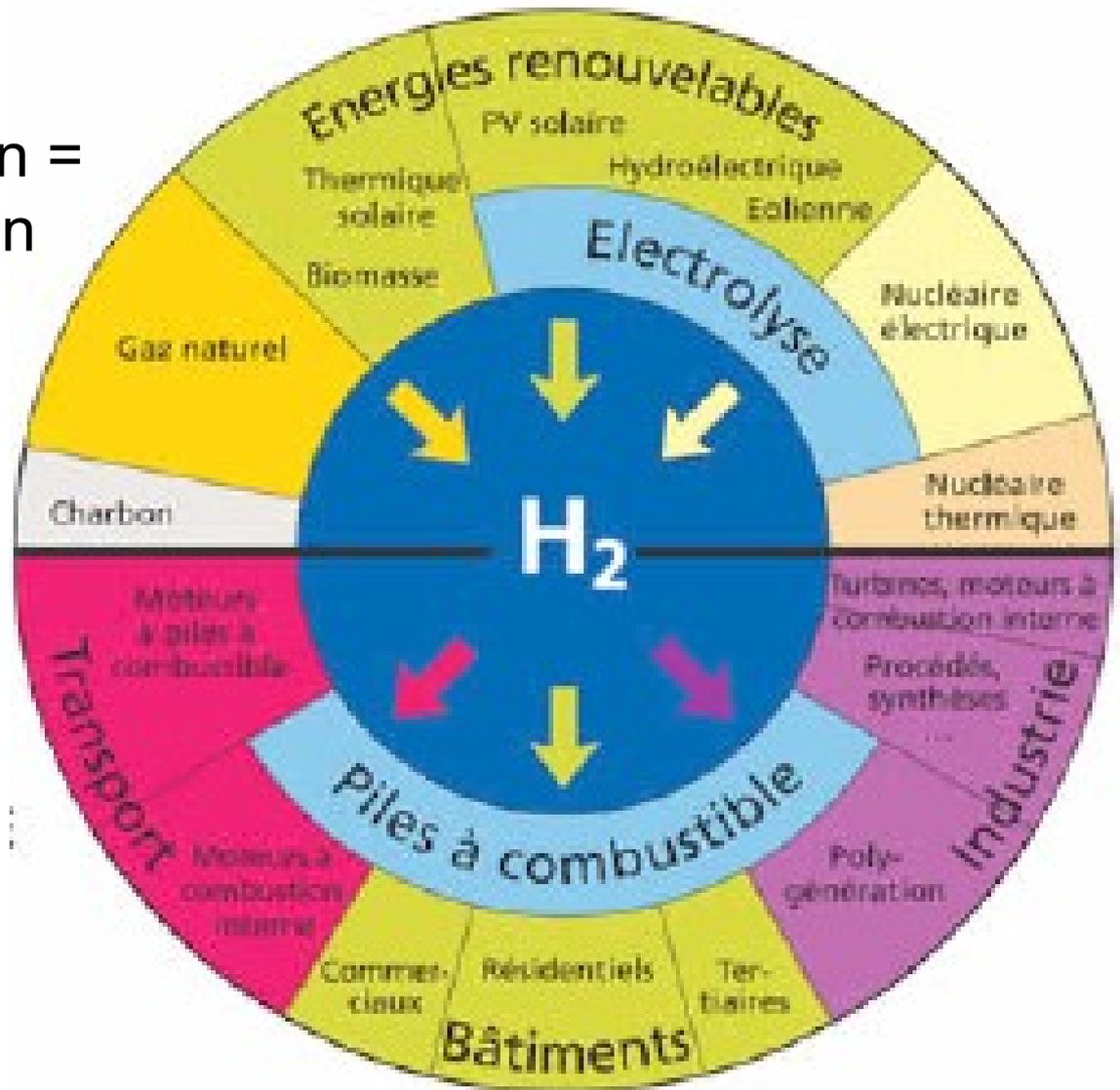
Etat des lieux - NTE

# Principe de la fusion



# Production Hydrogène

Utilisation actuelle :  
45 Mtonnes produit par an =  
1,5 % de la consommation  
mondiale annuelle  
- industrie pétrolière  
- engrais



## Coûts H2

Source	Procédé	Matière première 2003	Matière première 2007	Coûts de production	Cout Infracstructure
Pétrole	Raffinage	3	10	3	1
Gaz	Reformage	5	9	6	12-35
Charbon	Gazeifi.	1,2	2,2	14	12-35
Eau	Electrolyse BT	18 <sup>(1)</sup>		11	12-35

Coûts de production de l'hydrogène (en \$/GJ) selon différents procédés (1): pour un prix de l'électricité H.T. en France livrée aux industries en Juillet 2004 de 0,064 USDollar/kWh.

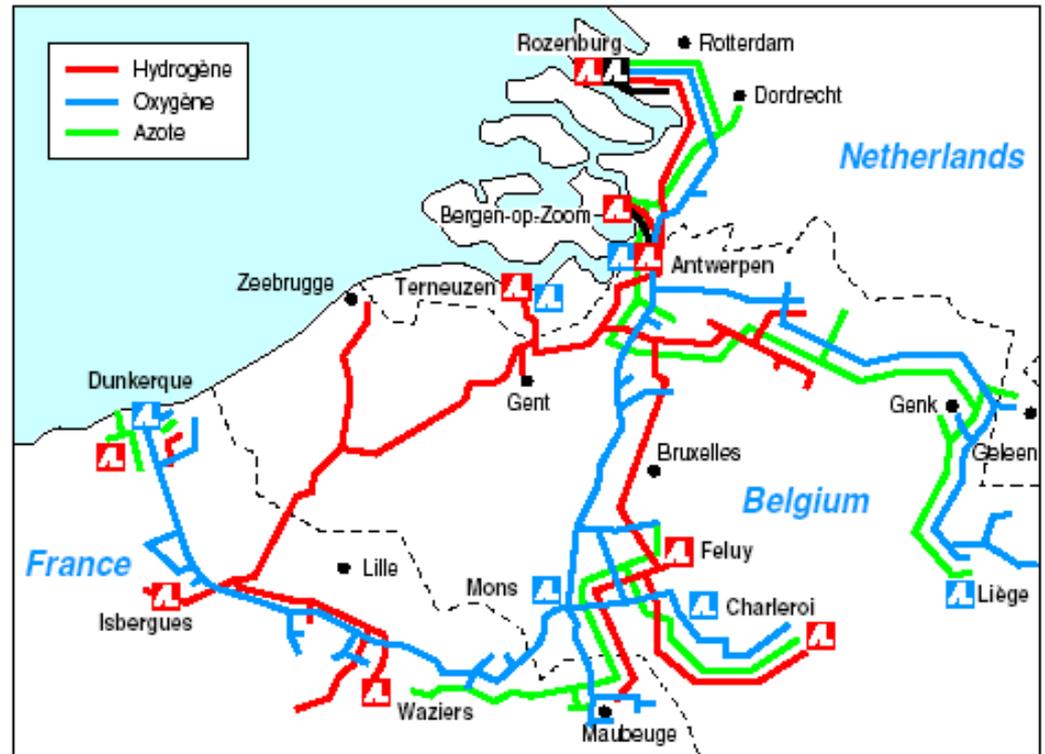
# H2 transport

réseau de plus de 2500 km dans le monde (H2 gazeux).  
en Europe : 1500 km  
aux États-Unis : 900 km.

Fig. 2

Exemple de réseau hydrogène : le réseau Air Liquide dans le nord de l'Europe

Projet Naturalhy  
=> Transporter l'H2  
dans le réseau de GN



IFP - 2004

Etat des lieux - NTE

# Energies renouvelables : Intermittence solaire

- **nécessité de stocker et /ou de transporter**

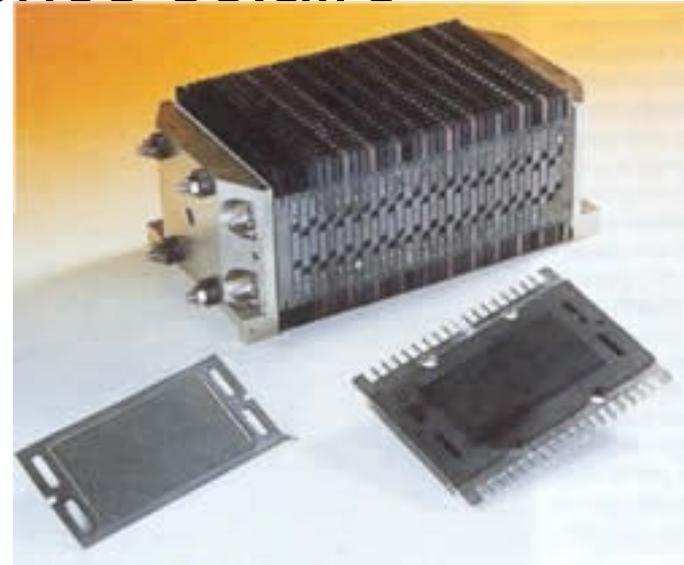
=> moyens de stockage

- combustibles fossiles
- biomasse
- accumulateurs  
(plomb, nickel-cadmium, lithium-ion)
- hydrogène

production par électrolyse

Stockage et/ou transport

utilisation : pile à combustible,  
moteur thermique



# Energies renouvelables : Intermittence solaire

	Production 2007	Réserves 2008	Répartition	Années de production
Platine + Palladium	460 kt	71 000 kt	Afrique du sud (90%)	154
Indium	510 t	11 000 t	Chine (73%)	21
Lithium	25 kt	9 500 kt	Chilie (31%) Bolivie (77%)	380
Nickel	1 660 kt	67 000 kt	Australie (35%)	40
Cuivre	16 Mt	490 Mt	Chilie (31%)	31

Production 2007, réserves prouvées 2008, répartition géographique des réserves et nombre d'années restants à consommation actuelles (US Geological Survey)

# Energies renouvelables : Solaire

puissance moyenne (sur l'année, jour et nuit confondues) =  $300 \text{ W/m}^2$  en France

- Solaire photovoltaïque => électricité

Capteurs en silicium : rendement 20%

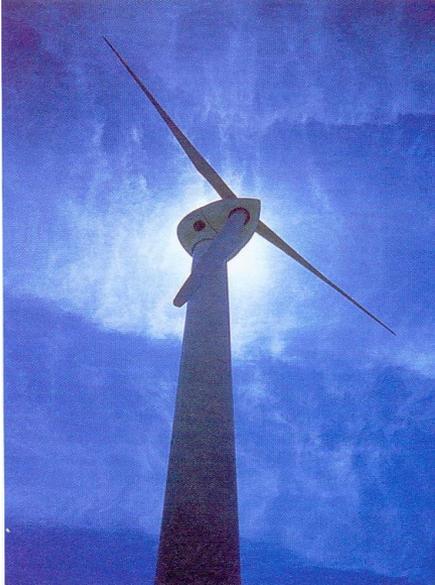
=> pb : silicium pur, procédé de dépôt en couche mince  
cher en énergie

R et D : amélioration du rendement, nouveaux matériaux

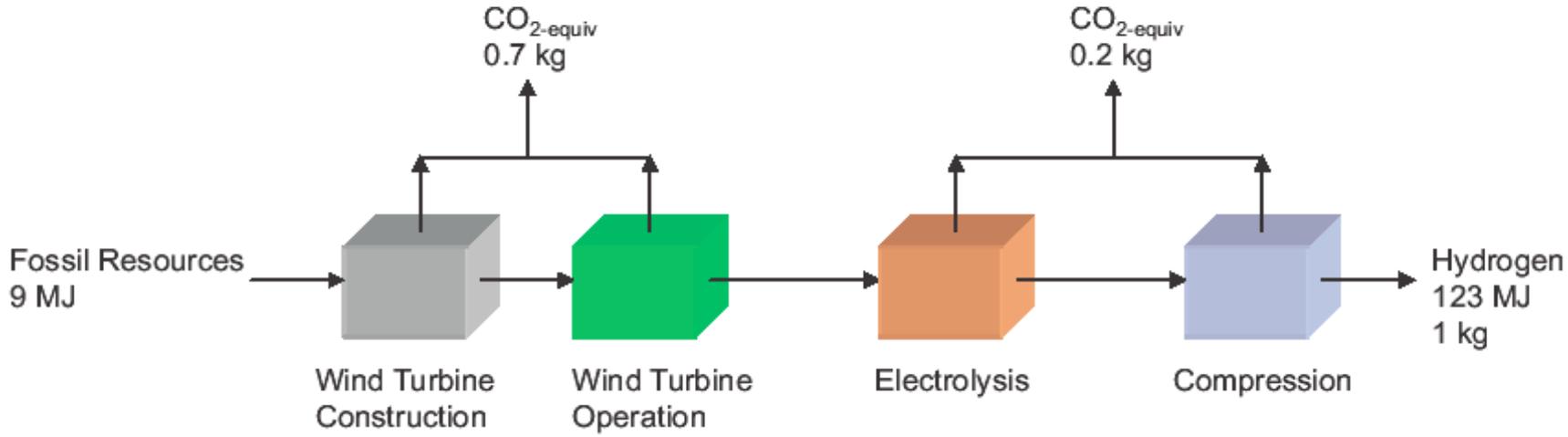
- Centrales solaires :

Australie, Espagne, Etats-Unis (500MWe en Californie)

# Energies renouvelables : Eolienne



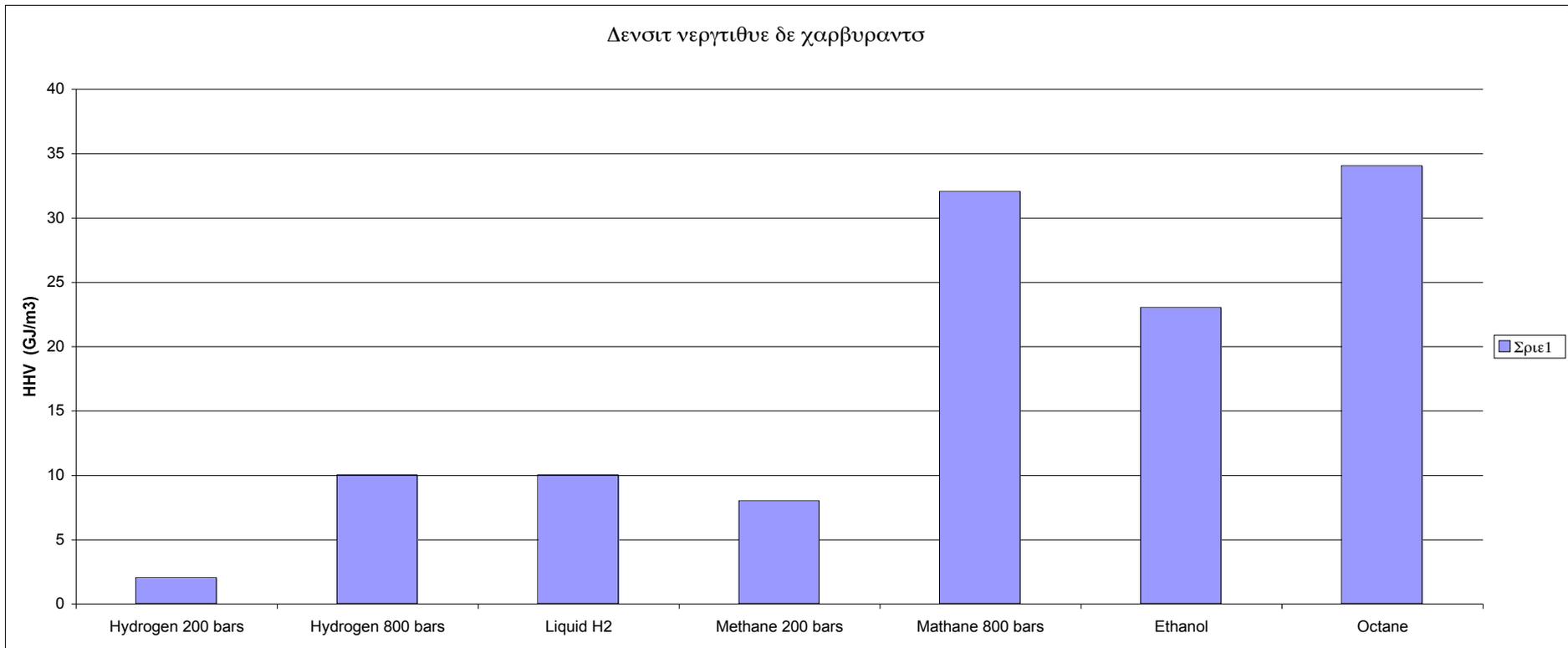
## Distributed Hydrogen Production from Wind Electrolysis



Source : HYDROGEN POSTURE HYDROGEN POSTURE PLAN, DOE

# Prospectives énergétiques : Energies nouvelles /nouveaux vecteurs

## Energies /vecteurs nouveaux



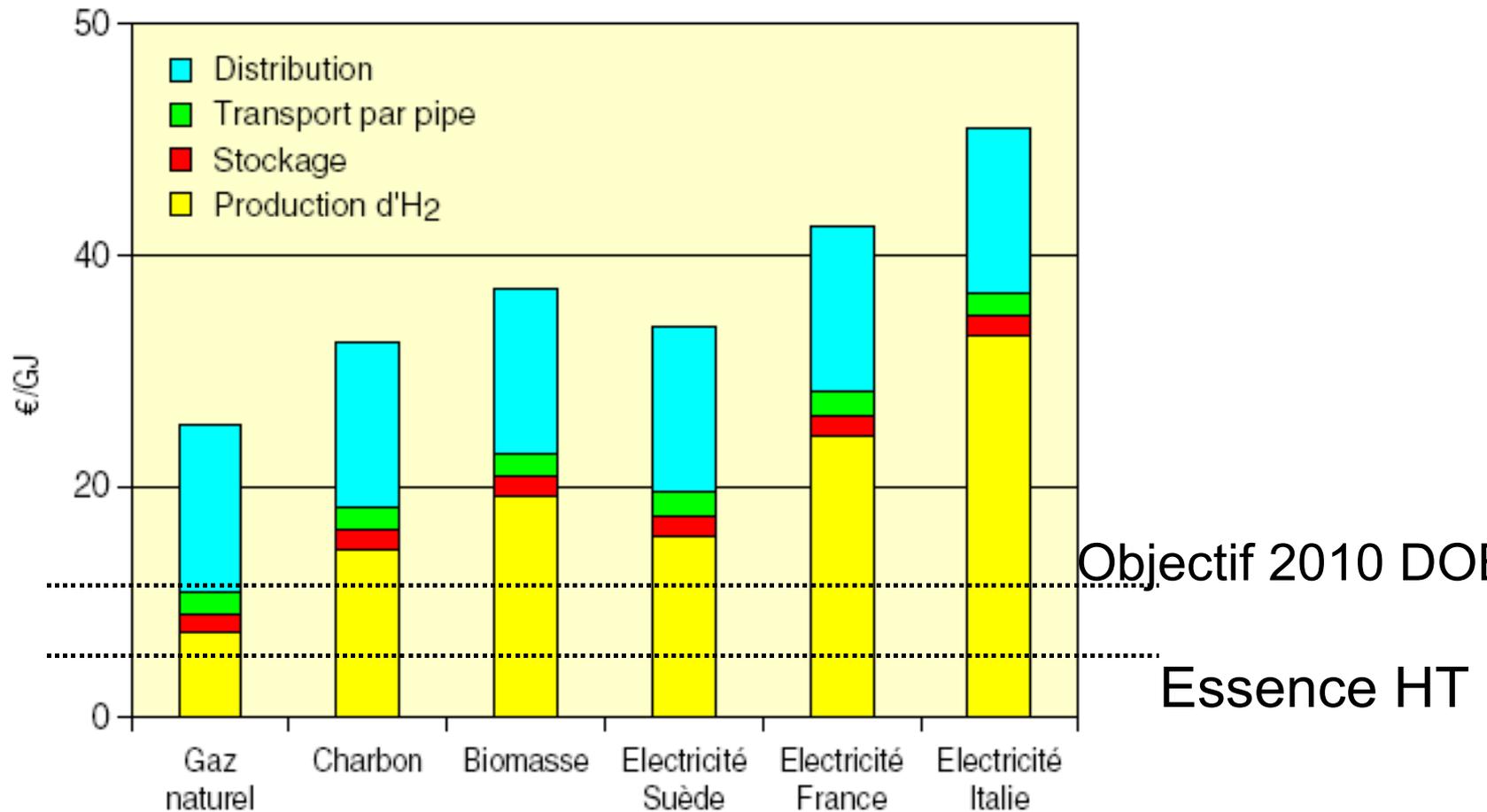
Source : CEA

Prospectives énergétiques

# H2 stockage

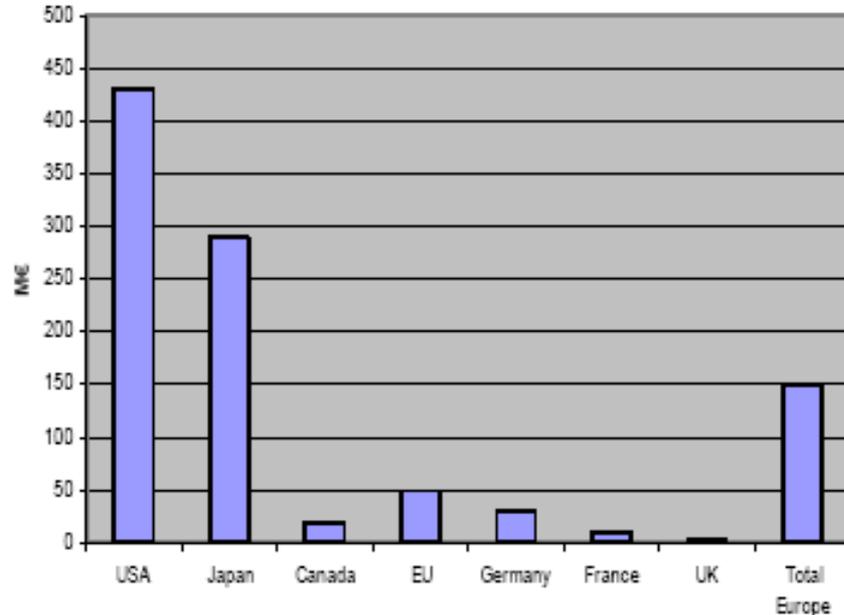
- gazeux sous pression (700 bars : 10% d'énergie) dans des réservoirs métalliques, composites ou plastique.
- liquide à 20K, 10 bars
- Solide : H2 absorbé par des hvdrures

Fig. 5 Estimation des coûts des filières hydrogène comprimé « du puits au réservoir » en fonction du prix de la matière première en €/GJ (dans le cas de l'électrolyse, le prix de l'électricité constaté en juillet 2002 a été retenu)



# Hydrogène et Piles à combustible en Europe

Aides publiques comparées  
Government Funding (Source E4Tech, 2003)



- FP 5 (1998-2002) : 145 M€
- FP 6 (2003-2004) : 100 M€ (50M€/an)
- plate-forme européenne :
- Total Europe : 100-150 M€/an

- 2002 : création d'un High Level Group
- Juin 2003 : rapport sur la vision européenne H2&PAC/conférence Bruxelles
- Décembre 2003 : initiative de croissance européenne (projets phares)
- Janvier 2004 : lancement de la plate-forme européenne H2&PAC (vision commune partagée, stratégie cohérente)
- Quick start program : 2.8 Milliards € sur 10 ans (2005-2015)

# Prospectives énergétiques : Hydrogène

- **Les transports:**
  - Grand public: scooter, automobile
  - Transports publics, maritimes (par exemple sous marin allemand), poids lourds, trains, spatial, aéronautique...
- **Le stationnaire:**
  - Avec ou sans cogénération
  - Résidentiel, isolé ou connecté
  - Décentralisé
- **Les niches:**
  - Militaires, sites isolés, géné de secours
- **Les mini et micro Piles**
  - Téléphones cellulaires, Ordinateurs ...

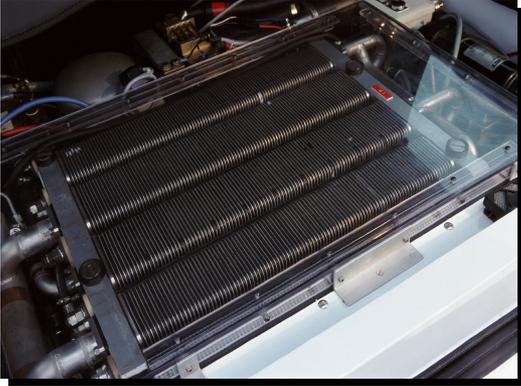


Source : CEA

# Prospectives énergétiques : Energies /vecteurs nouveaux

**Projet GENEPAC (PSA et le CEA) : pile de technologie PEMFC d'une puissance maximale de 80 kW adaptée à l'usage automobile. Ce projet est financé par le réseau PACO.**

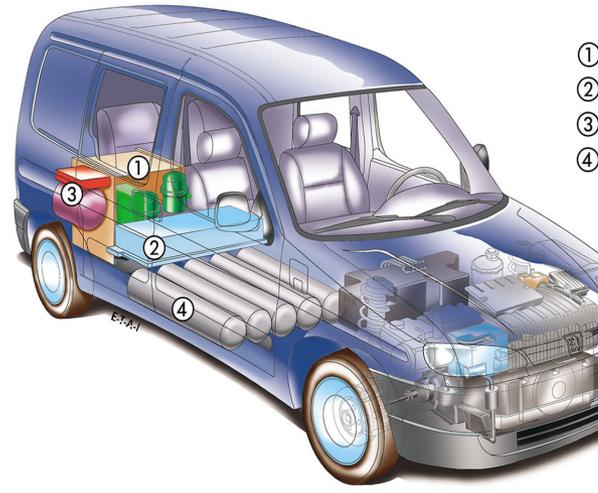
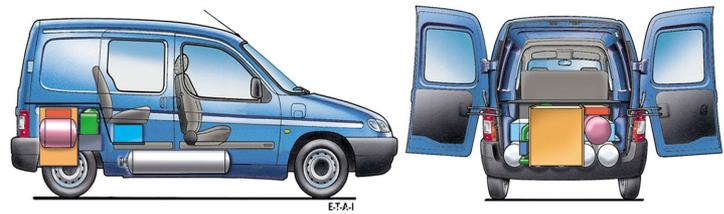
Intégration d'une pile à combustible : programme Hydro-Gen



**PEMFC de 30 kW**



**Stockage H<sub>2</sub>  
5 réservoirs à 350 bars (Pmax = 700 bars)**



- ① Pile à combustible
- ② Convertisseur continu/continu
- ③ Circuit de recirculation de l'hydrogène
- ④ Réservoir d'hydrogène



Source : Communiqué de presse PSA, CEA

# Prospectives énergétiques

## The Hydrogen Infrastructure Challenge

- 135,000 fuel stations currently in EU-25
- 10-12 billion Euros to convert 10% of these to hydrogen filling stations (HyNet)

Actuellement, une cinquantaine de stations services dans le monde, dont 16 en Californie (Hydrogen Highways)



G.M. 2006

## Coût de revient au kilomètre parcouru des filières hydrogène

	Consommation (MJ/100 km)	Coût du carburant (€/GJ)	Coût (€/100 km)
MCI + essence	224	8	1,8
MCI + gazole	184	8	1,5
MCI Hybride + gazole	141	8	1,1
PAC + H <sub>2</sub> comprimé ex-gaz naturel	84	25	2,1
PAC + H <sub>2</sub> comprimé ex-charbon	84	32	2,7
PAC + H <sub>2</sub> comprimé ex-biomasse	84	37	3,1
PAC + H <sub>2</sub> comprimé ex-électricité France	84	42	3,5

MCI : moteur à combustion.

PAC : pile à combustible.

Source : IFP d'après « Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context », EUCAR, JRC, CONCAWE, November 2003

# Les grands défis technico-économiques de la PAC

**Coût, durabilité, fiabilité, intégration, sûreté, plus-value**

Situation actuelle : Coût de la PAC ~ 3000-5000 €/kW et durée de vie système en conditions réelles d'utilisation : 500 à 2000 h

## Les défis

### Stationnaire



- Endurance (40 000 h)
- Coût visé : < 800-1500 €/kW
- Infrastructure, stockage H2

### Transport



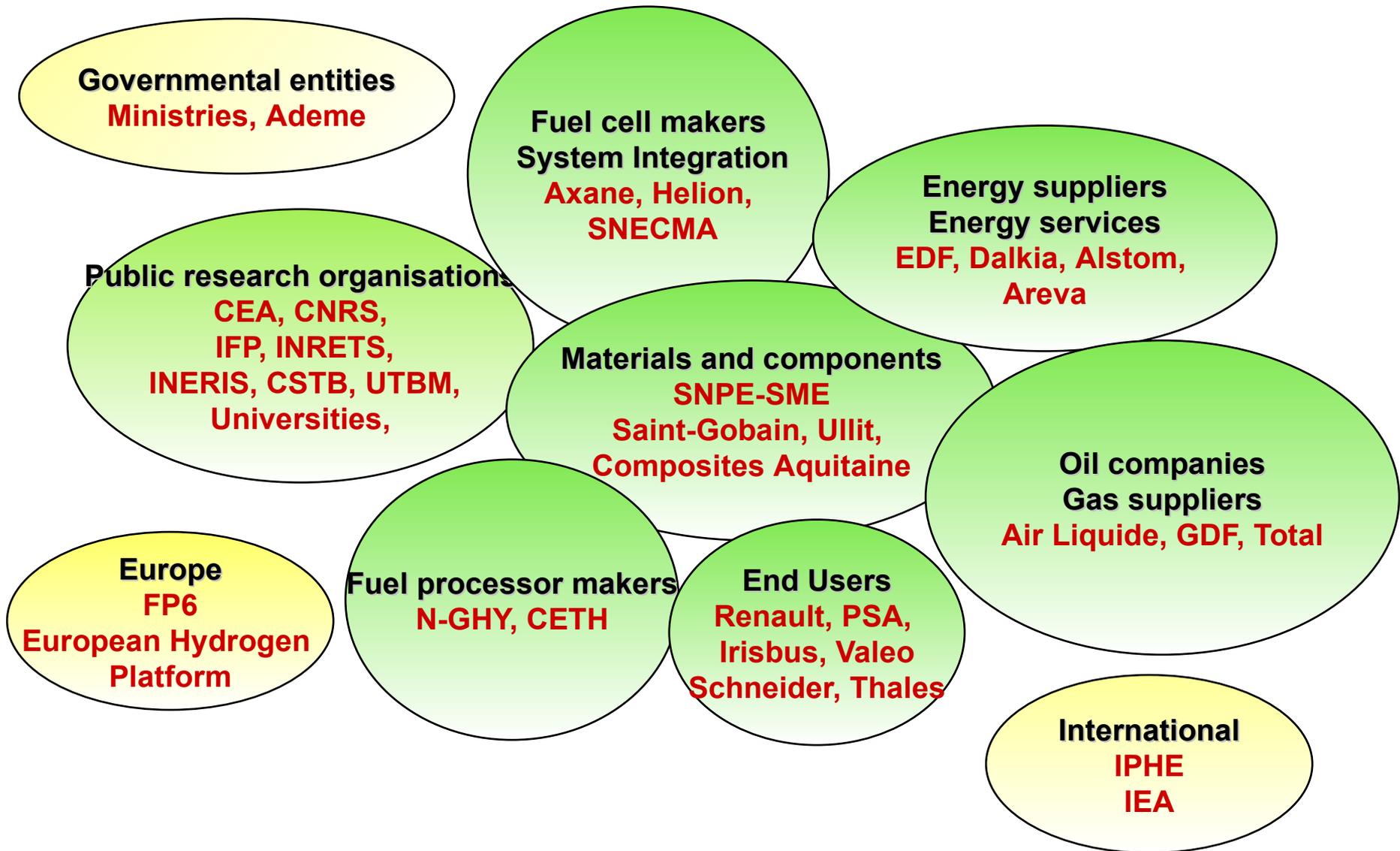
- Endurance (5 000 h véhicule particulier)
- Coût visé :
  - < 200 €/kW (transport urbain)
  - 250 €/kW APU (voiture de luxe)
  - 50 €/kW (véhicule particulier)
- Infrastructure, stockage H2

### Portable



- Coût visé (0,5 €/Wh)
- Miniaturisation

# Panorama en France



# La vision européenne

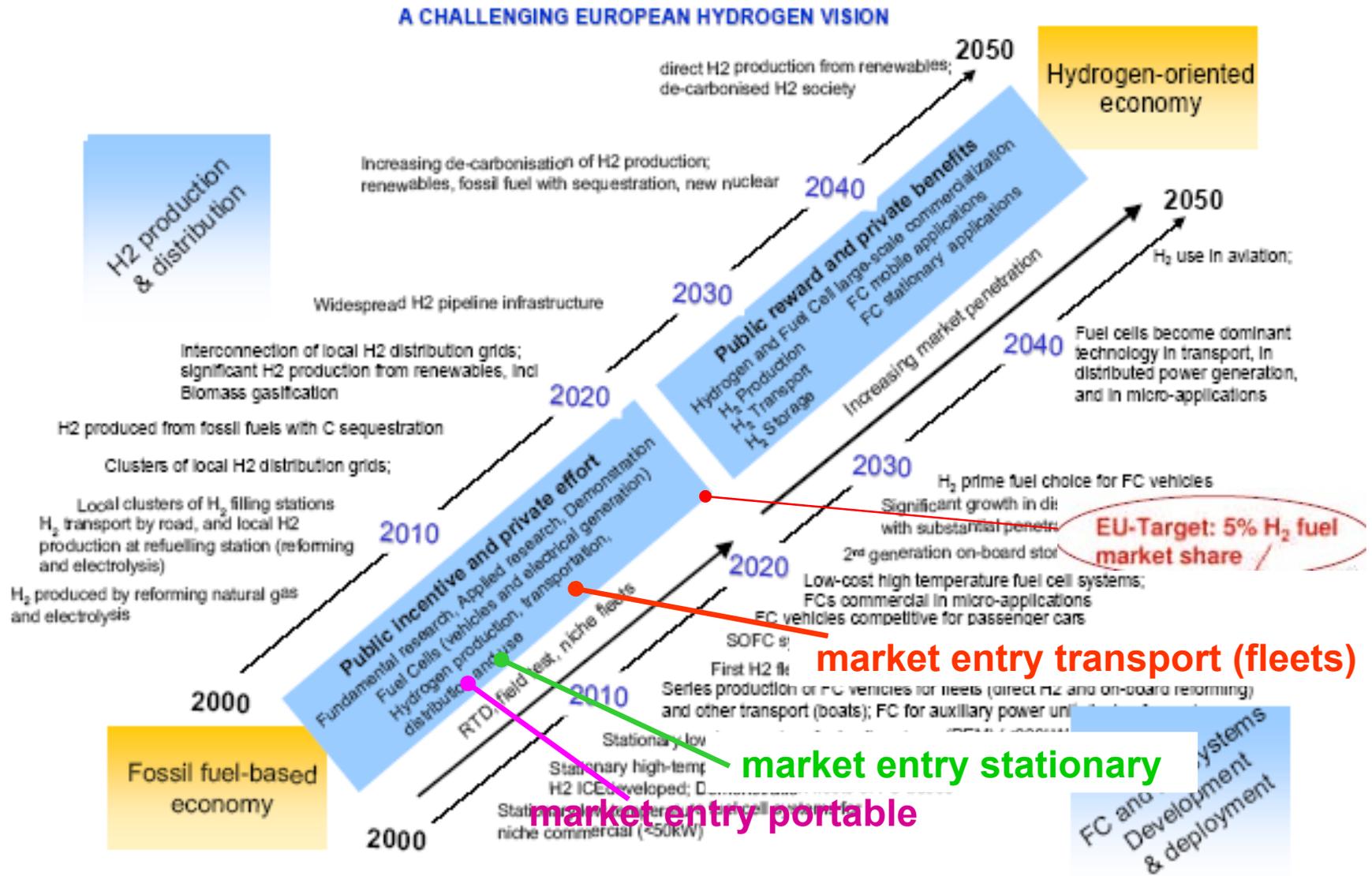


Figure 4: Skeleton proposal for European hydrogen and fuel cell roadmap

# Géopolitique de l'énergie

## Généralités

- Objectifs du cours

- Un peu d'histoire

- Instances nationales et internationales, associations...

## Etat des lieux mondial et national

- Populations

- Production et Consommation d'énergie

- Etats des réserves de sources d'énergie fossiles, Potentialité des ENR,

- Etat de l'art des Nouvelles Technologies de l'Energie

Notions sur la problématique Effet de serre - Changement climatique

Stratégies énergétiques mondiales et nationales dans un contexte économique et politique

# Prospectives énergétiques : Echelles de temps

⇒ court terme : 2020:

⇒ moyen terme : 2050 :

=> long terme : 2100et +

Pas d'analyse possible au niveau local (France ou même UE) :  
réserves, risques climatiques...

**MAIS les politiques sont locales**

# Prospectives énergétiques : Echelles de temps

=> **court terme : 2020**: pétrole et gaz *en abondance*  
projections possibles car grande inertie

=> **moyen terme : 2050** : production de pétrole en baisse  
étude de différents scénarios

Ex: développement limité des PVD : 2tep/habitants  
forte réduction de la consommation des pays riches:  
3,5tep/habitant (6 en 2004)

=> **long terme : 2100et +**  
industrialisation des évolutions techno?  
pas de projections possibles

Pas d'analyse possible au niveau local (France ou même UE) :  
réserves, risques climatiques...

**MAIS les politiques sont locales**

Prospectives énergétiques

# Prospectives énergétiques

Accroissement de la consommation:

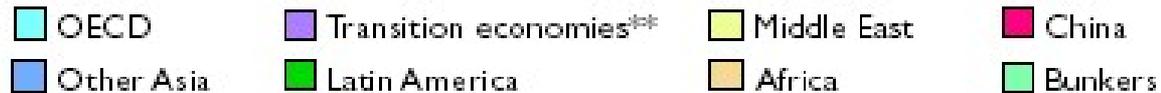
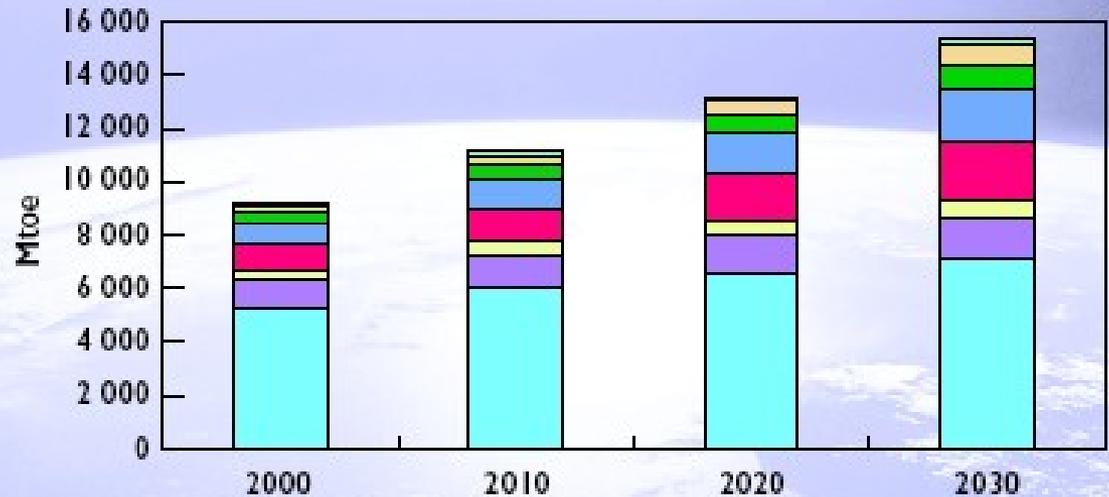
- augmentation de la population
- augmentation de la demande d'énergie/habitant

++++ :           Energie = prospérité  
                      = confort, qualité de vie  
                      = espérance de vie (santé publique,  
chauffage, chaîne du froid...)

Académie de médecine (2003) : « Le plus grave risque pour la santé publique est de manquer d'énergie ».

----- : Epuisement rapide de certaines énergie fossiles  
Interdépendance géographique croissante => conflits  
Impact croissant sur l'environnement

# Regional Primary Energy Demand\* Outlook

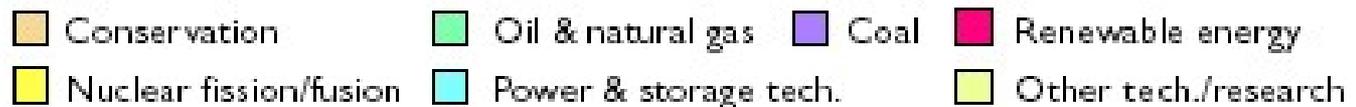
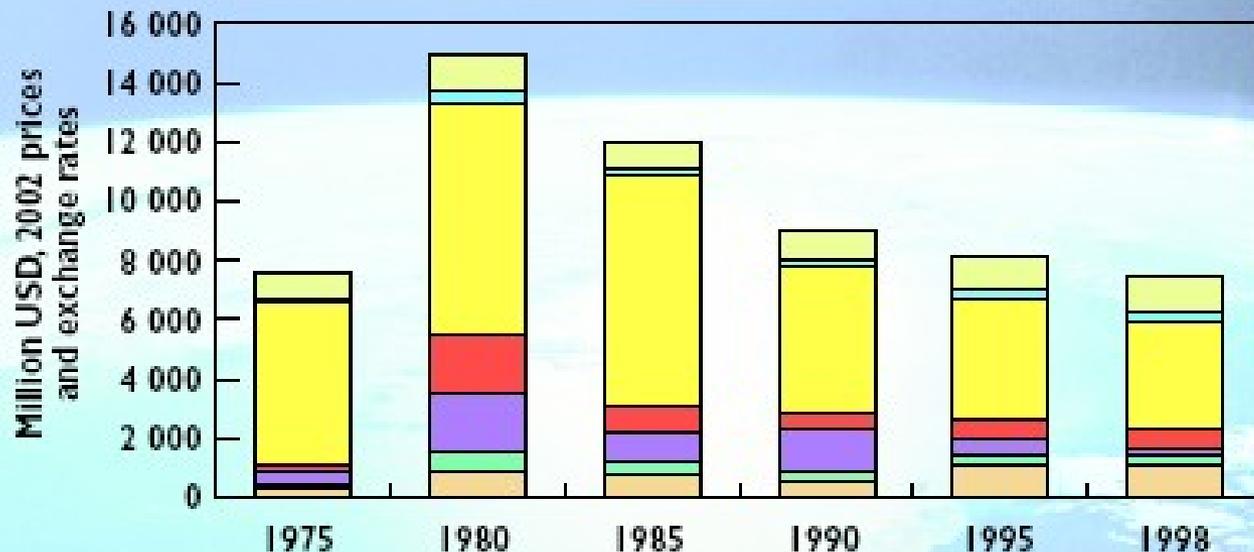


More than 62% of the increase in world primary energy demand will come from Asia.

The increase in the share of the developing regions in world energy demand results from their rapid economic and population growth, industrialisation and urbanisation.

The replacement of non-commercial biomass by commercial fuels will also help to boost demand. **Prospectives énergétiques**

# IEA Government Budgets for Energy R&D\*



# Prospectives énergétiques

**L'avenir sous fortes contraintes** (disons jusqu'à 2050):

- Forte augmentation de la population
- Forts besoins en énergie
- vulnérabilité de l'approvisionnement
- déséquilibre de ressources => interdépendance de différentes zones géographique => conflits
- raréfaction sensible et rapide du pétrole et du gaz
- accélération de la dérive climatique

**Et de fortes incertitudes**

**=> Grande inertie du système énergétique mondial et des phénomènes de dérive climatique**

# Prospectives énergétiques

Actions pour atténuer ces contraintes croissantes ?

# Prospectives énergétiques

## Actions pour atténuer ces contraintes croissantes ?

- Economiser l'énergie / Optimiser la consommation
  - Développer les énergies d'approvisionnement plus sûres et ayant l'impact minimum sur l'environnement,
  - Réduire la production de GES des sources fossiles
  - Capturer et séquestrer les GES produits
  - Préparer des substituts au pétrole
- ⇒ impact mondial + coût.

⇒ A quel niveau ? Local, pays, europe, monde??

# Prospectives énergétiques

## Analyse par type d'énergie:

Energies fossiles

Energies renouvelables

Energie nucléaire

Nouvelles énergies / Nouveaux vecteurs (H2)

## Economies d'énergie

Analyse par secteur

(transports, habitat, industrie)

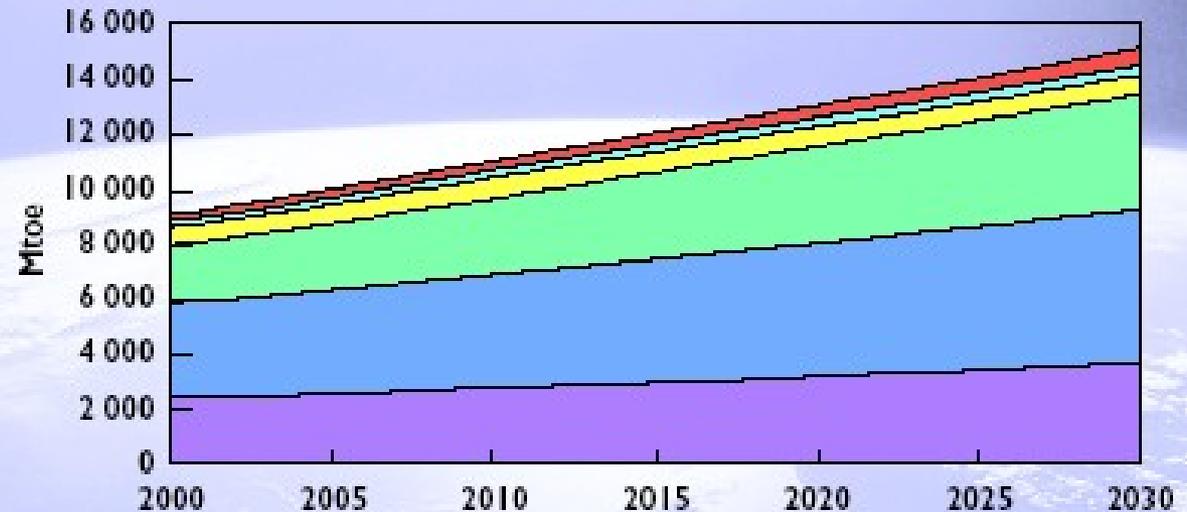
## Analyse de la politique énergétique par pays

UE

France

USA

# World Primary Energy Demand\* Outlook



IEA: 2005

Coal Oil\*\* Natural gas Nuclear Hydro Other renewables

Sans changement politique :

Among fossil fuels, natural gas will grow fastest, but oil will remain the most important energy source. Oil demand will increase from 75 mb/d in 2000 to 120 mb/d in 2030.

Coal, which remains important in power generation because of its low cost, will still account for 24% of TPES.

Prospectives énergétiques

# Prospectives énergétiques **Energies fossiles**

**Pétrole** : il conditionne les transports

----- Raréfaction prouvée  
Mal réparti => conflits  
Volatilité des prix

++++ haute densité énergétique, coût de production, de transport, de distribution faible, facilité d'emploi, sécurité d'utilisation

=> Développer à court terme de nouveaux carburants et la motorisation associée.

# Prospectives énergétiques : Energies fossiles

**Gaz** : plus abondant et bon marché

Amérique du Nord n'est pas importatrice, mais va le devenir => conflits

++++ Emet moins de CO2 que le pétrole et charbon (si utilisé dans des installations modernes)

---- Pollution (Nox, fuites de méthane)  
Mal réparti => conflits

=> Recherches sur la production d'hydrogène (pour amorcer l'économie de l'H2).

# Prospectives énergétiques : **Energies fossiles**

**Charbon** : 2020-2030 : +40% de consommation

=> 90% en autoconsommation : Chine, Inde

=> 10% marché mondial (production proche des mers)

----- Transport cher

Risque environnement : très polluant (CO<sub>2</sub>, Nox...), risque de santé publique, accidents

++++ Réserves pour 200ans, bien réparti (sauf Europe et Japon)

⇒ Recherches sur la capture CO<sub>2</sub> (et le stockage CO<sub>2</sub>??)

⇒ Recherches sur la production de carburants de synthèse, d'hydrogène (pour amorcer l'économie de l'H<sub>2</sub>).

=> **Charbon = stabilisateur du marché mondial ?**

# Prospectives énergétiques : Energies fossiles

## CO2 : Capture + stockage

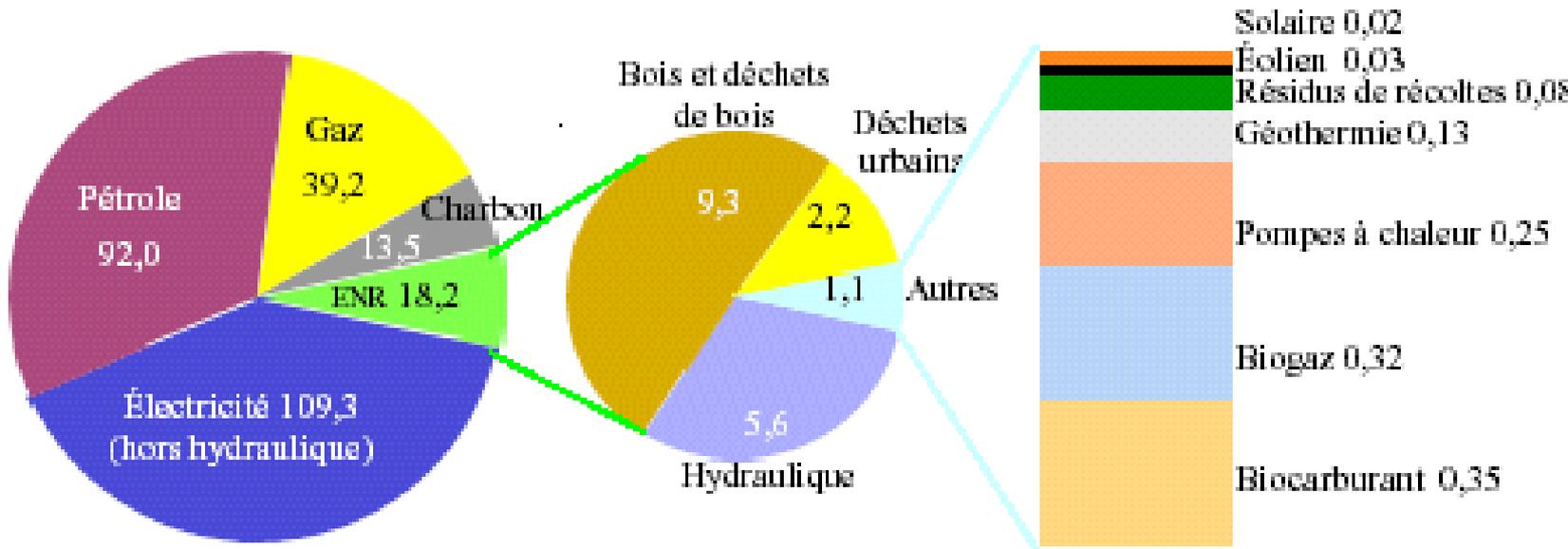
Stockage = compression + transport + séquestration (dans les puits de pétrole, dans les aquifères salins)

=> beaucoup trop cher pour être envisagé à court terme

Impossible pour les transports => nécessité absolue de nouveaux carburants

# Prospectives énergétiques **Energies renouvelables**

- ⇒ UE : 22% d'ENR en 2010 pour la prod. d'électricité
- ⇒ France : 21% d'ENR en 2010 pour la prod. d'électricité (2004 : 14% grâce aux 12% d'hydraulique)



Source : Ministère de l'industrie, 2003

# Prospectives énergétiques **Energies renouvelables**

**Hydraulique : 92% des ENR dans le monde**

**+++++** indépendance, longue durée de vie, cout d'exploitation faible, stockable

**-----** investissement lourd, déplacement des populations, non transportable

⇒ A développer massivement dans les PVD

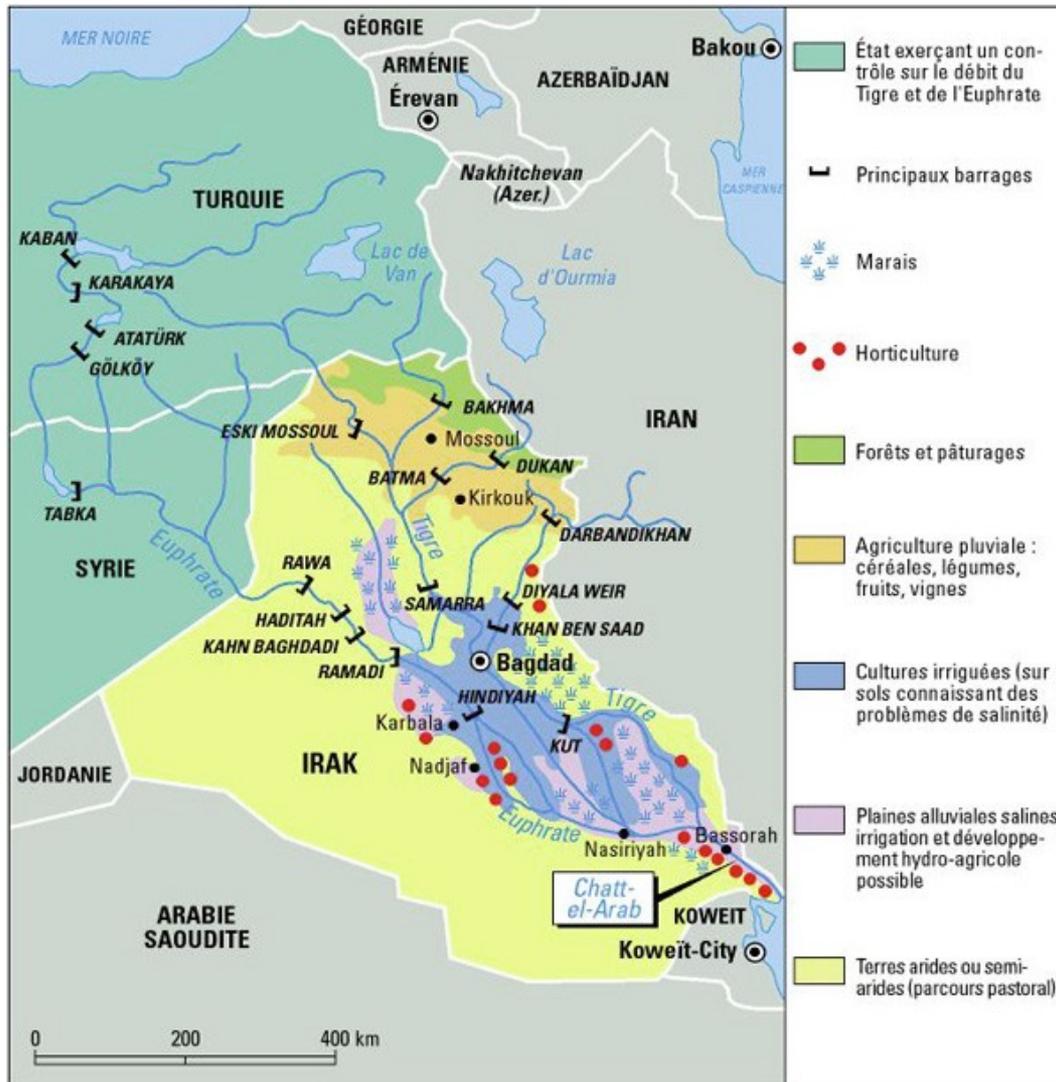
⇒ En afrique : 10% des ressources sont utilisées

⇒ Attention aux conflits locaux (liés à l'énergie mais surtout à l'eau)

# Turquie : Anatolie



# Turquie : Anatolie



- Syrie et l'Irak dépendent de l'Euphrate et du Tigre pour plus de 50% de leurs besoins en hydroélectricité.

# Turquie : Anatolie du sud est

- région aride et pauvre
- zone de conflit intérieur (peuplée de Kurdes, PKK)  
=> amélioration des conditions économiques pour réduire les volontés séparatistes

=> Projet d'Anatolie du Sud-Est (GAP) = irrigation 1,7 millions d'hectares de terres arides à partir de 22 barrages principaux construits sur les bassins versants du Tigre et de l'Euphrate. En parallèle, 19 usines hydroélectriques permettront de fournir 7476 MW (22% de la consommation turque estimée en 2010).

# Turquie : Anatolie

- Ce projet devrait réduire de 22 km<sup>3</sup> le débit des fleuves Tigre et Euphrate. Le partage des eaux de ces deux fleuves est une source de conflit entre la Turquie, la Syrie et l'Irak.

# Prospectives énergétiques **Energies renouvelables**

**Eolien : 1% de la production mondiale**

**+++++** indépendance, longue durée de vie, coût d'exploitation faible, stockable

**-----** énergie diffuse et aléatoire, kW 2 fois +cher

⇒ **Production d'hydrogène (puis transport vers les zones d'utilisation) - Attention : création d'une nouvelle dépendance.**

⇒ Projets d'importantes fermes éoliennes au Maroc (vent régulier et terrain peu cher)

# Prospectives énergétiques **Energies renouvelables**

**Biomasse : 1% de la production électrique mondiale (l'essentiel est hors marché)**

⇒ Biocarburants :

⇒ UE : projet de 2001 : 2% en 2005 et 6% en 2010

France : Octobre 2006 : Annonce de T. Breton : Flex Fuel-Ethanol E85

Véhicules : développer les moteurs adaptés

Production : création de 4 usines d'une capacité de 200 000 t

Distribution : 500 "pompes vertes" installées en 2007 (13 000 pompes existantes).

# Prospectives énergétiques **Energies renouvelables**

## **Solaire**

**+++++** présent partout

**-----** intermittence  
rendements (25% en thermique, 10% en photovoltaïque)

Le solaire thermique peut couvrir la production de ECS dans de nombreux pays.

Soutien fort du photovoltaïque en Allemagne, Japon, USA.

Production H<sub>2</sub> (stockage d'énergies intermittentes) - **Attention : création d'une nouvelle dépendance.**

# Prospectives énergétiques Nucléaire

## Nucléaire

+++++ peu cher

----- déchets, sécurité

France très fortement impliquée (politique différente de celle de l'UE):

EPR : Sécurité et efficacité accrue, moins de déchets

Génération 4 : nouvelle techno

Fusion ??

USA fortement impliqué

# Prospectives énergétiques

## Analyse par type d'énergie:

Energies fossiles

Energies renouvelables

Energie nucléaire

Nouvelles énergies / Nouveaux vecteurs : H2

## Economies d'énergie

Analyse par secteur  
(transports, habitat)

## Analyse d'un scénario

## Analyse de la politique énergétique par pays

UE

France

USA

# Prospectives énergétiques : Economies d'énergies

Toute énergie non consommée : négawatt

Toute économie d'énergie est accompagnée de progrès technologique:

production d'une tonne d'acier /5 en 30ans

chauffage au m<sup>2</sup> /4 en 30 ans (mais la surface/habitant et la temp. augmente)

consommation auto diminue (mais le parc, la puissance, le kilométrage augmente)

Maîtrise de l'énergie = source de négawatt??

# Prospectives énergétiques : Economies d'énergies en France

## Dans les transports

- représente **plus du quart des besoins énergétiques**
- **Dépend du pétrole à 98 %**
- responsable d 'une part importante des émissions de CO2 **(33%)**

Il faut diminuer la dépendance aux hydrocarbures :

⇒ nouvelles technologies moteurs/carburants

⇒ les biocarburants

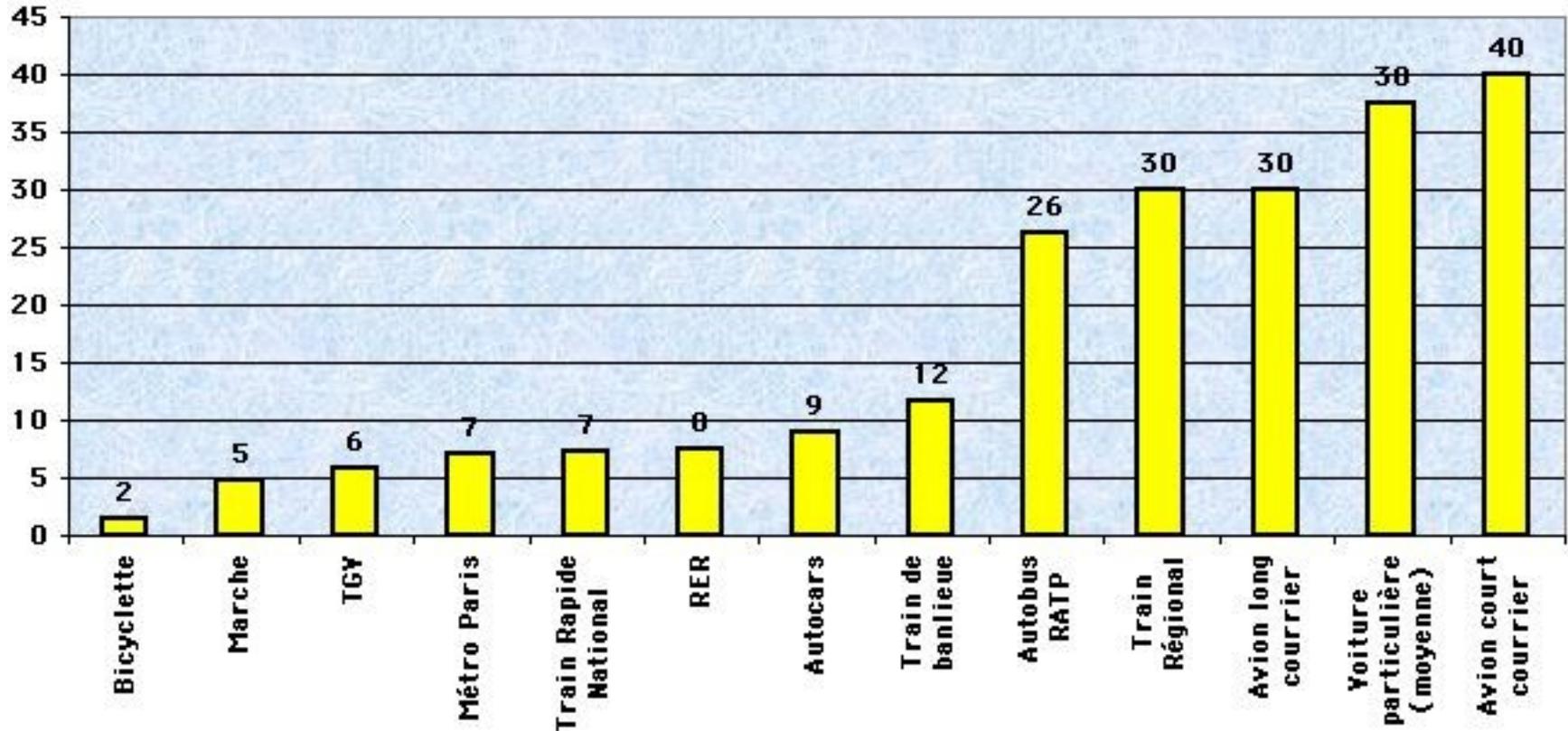
⇒ la voiture hybride

⇒ l 'hydrogène + PAC

**Il faut repenser le transport de marchandises !!!**

# Prospectives énergétiques : Economies d'énergies (2)

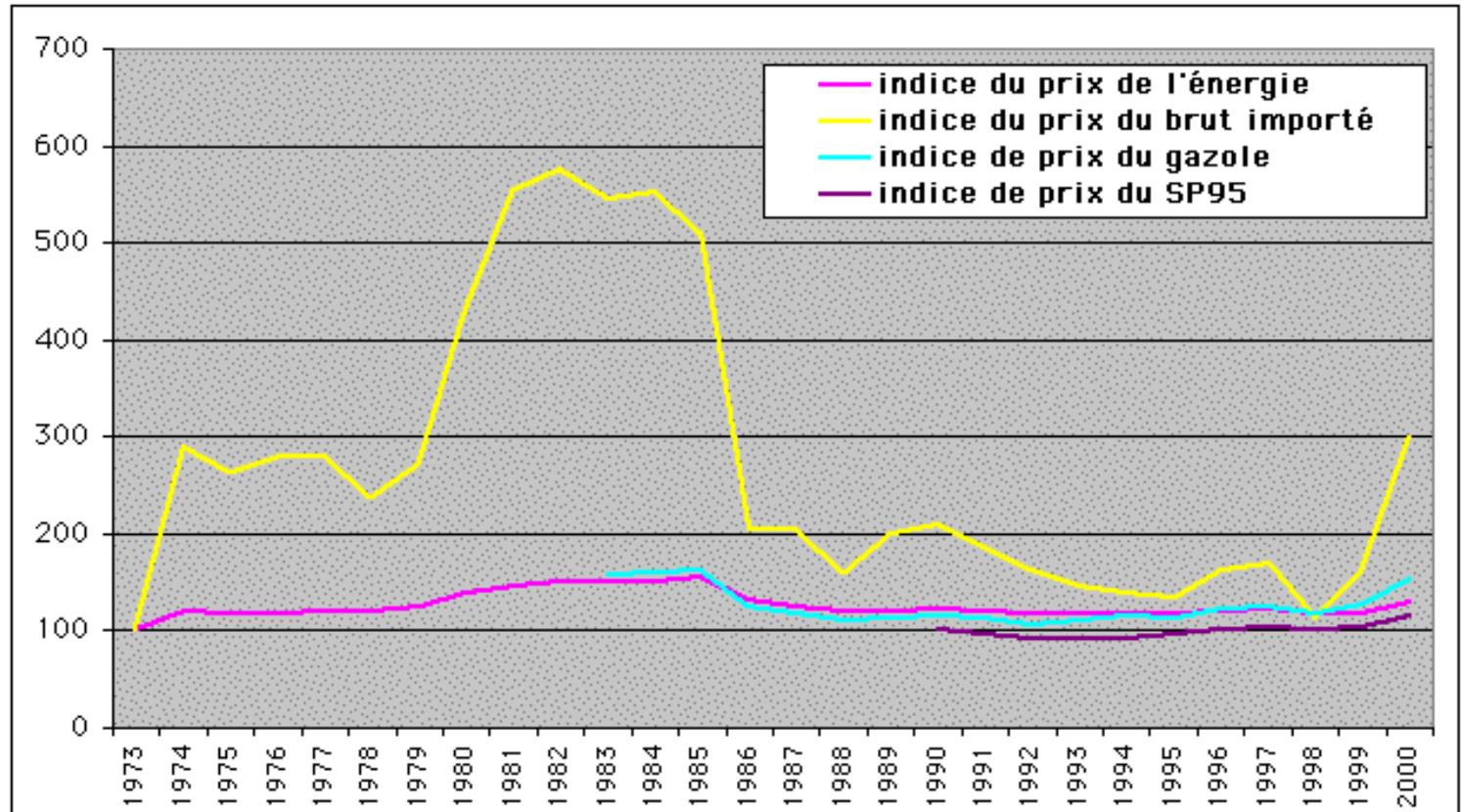
Consommation d'énergie par passager.km, en grammes équivalent pétrole



Dépense énergétique par passager.km selon les modes. Pour la voiture il s'agit d'une moyenne par personne tenant compte des taux de remplissage des véhicules.

Source Jancovici, Ademe, 2004

# Prospectives énergétiques : Economies d'énergies



Evolution parallèles des indices de prix pour la France- en monnaie constante - pour diverses énergies.

L'intitulé "indice du prix de l'énergie" désigne le mix de toutes les énergies commerciales.

Source Observatoire de l'énergie, 2000.

Prospectives énergétiques

# Prospectives énergétiques : Economies d'énergies

Pour le consommateur final:

- le prix de l'énergie n'a augmenté que de 30% depuis 1973, alors que le pouvoir d'achat a doublé,
- le prix de l'énergie en général a plutôt baissé depuis 15 ans.

=> sous quelque forme que ce soit, **l'énergie vaut de moins en moins cher en fraction du pouvoir d'achat**. C'est la dépendance à l'énergie qui augmente !

# Prospectives énergétiques : Economies d'énergies en France

## Dans l'habitat :

Consommation des ménages = 67% de la conso. totale

Chauffage+ECS = 56% de la consommation dans l'habitat

=> Fort progrès techno dans le neuf mais faible taux de renouvellement.

=> Nouvelles techno peu utilisées en France (solaire thermique, géothermie...) mais en croissance exponentielle.

# Prospectives énergétiques : Economies d'énergies en France

## Dans l'habitat :

Le parc résidentiel : environ 31 millions de logements (dont 17 millions de maisons individuelles), plus de 400 000 logements construits par an, alors qu'on ne détruit que 50 000 logements par an => 20 millions de logements anciens (<1975)

consommation moyenne de 210kWh/m<sup>2</sup>/an, dont 70% pour le chauffage, et 13% pour l'électricité. => 40kWh/m<sup>2</sup>/an

(1)

Isoler son logement de manière drastique : on peut ainsi économiser jusqu'à 75% de ce que l'on consomme :

(2) Attitude citoyen ??

# Prospectives énergétiques

## Analyse par type d'énergie:

Energies fossiles

Energies renouvelables

Energie nucléaire

Nouvelles énergies / Nouveaux vecteurs : H2

## Economies d'énergie

Analyse par secteur  
(transports, habitat)

## Analyse d'un scénario

## Analyse de la politique énergétique par pays

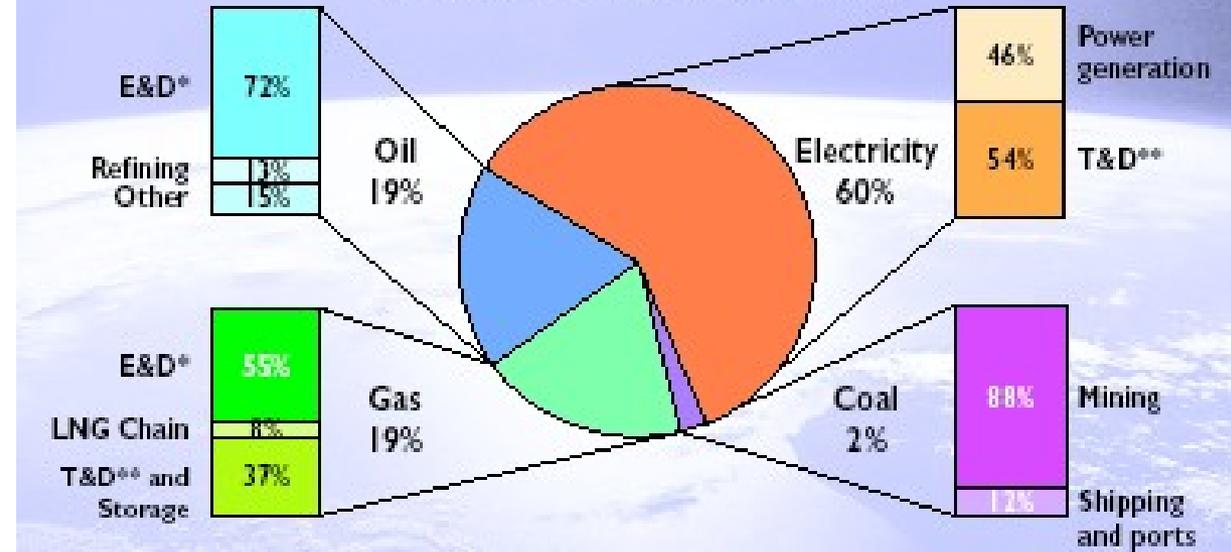
UE

France

USA

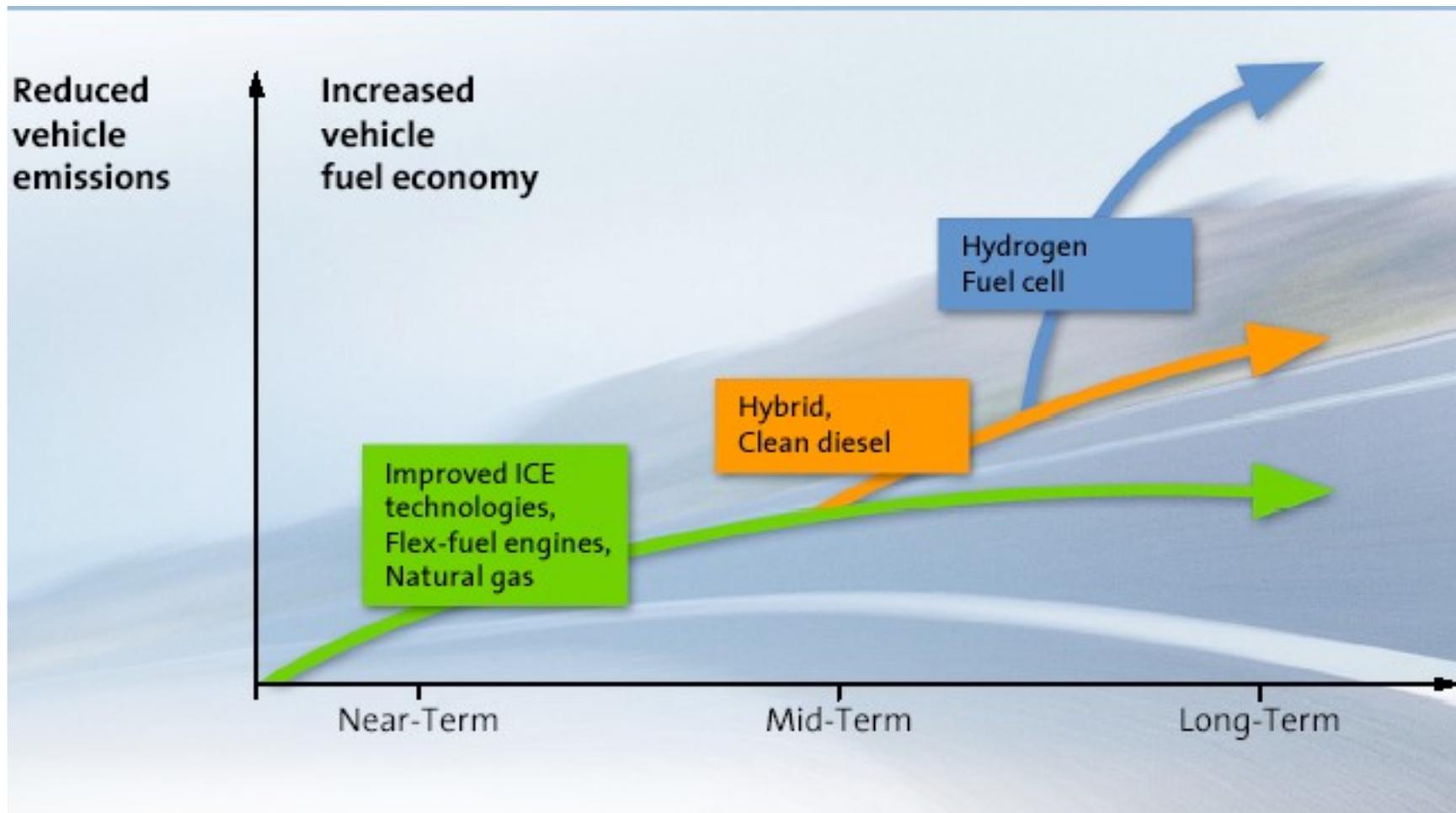
# Investment Needs in the Energy Sector

Total investment: 16 trillion dollars



- More than \$16 trillion, or \$550 billion a year, needs to be invested in **energy-supply infrastructure** worldwide, (1% of projected gross domestic product).
- 51% of investment in production will be simply to replace existing capacity. The rest will be needed to meet the increase in demand.
- Almost half of total energy investment will take place in developing countries

# Prospectives énergétiques



G.M. 2006

# Prospectives énergétiques

**“I think there is a world market for maybe five computers”**

Thomas Watson, chairman of IBM, 1943

**“Computers in the future may weigh no more than 1.5 tons”**

Popular Mechanics, forecasting the relentless march of science, 1949

**“There is no reason anyone would want a computer in their home”**

Ken Olsen, President, Chairman, and Founder of Digital Equipment Corp., 1977

**“640k of memory should be enough for everyone”**

Bill Gates, CEO, Microsoft, 1991

**“Fuel Cells are too expensive to be attractive for the automobile”**

Unknown Powertrain Engineer, 1994

# Prospectives énergétiques

## Analyse par type d'énergie:

Energies fossiles

Energies renouvelables

Energie nucléaire

Nouvelles énergies / Nouveaux vecteurs : H2

## Economies d'énergie

Analyse par secteur  
(transports, habitat)

## Analyse d'un scénario

## Analyse de la politique énergétique par pays

UE

France

USA

# Scénario Facteur 4

Réduction d'un facteur 4 des émissions de CO<sub>2</sub> en France à l'horizon 2050 = divisé par 2, la consommation nationale de gaz naturel, de pétrole et de charbon!

Etude prospective réalisée par la DGEMP pour la France (02/05):

- **pour 2030** : étude tendancielle de référence " : décrire ce que serait la situation de l'énergie en France si aucune nouvelle mesure n'était prise autre que celles déjà décidées.
- **pour 2050** : scénario respectant l'objectif gouvernemental de division par 4 des émissions de CO<sub>2</sub>.

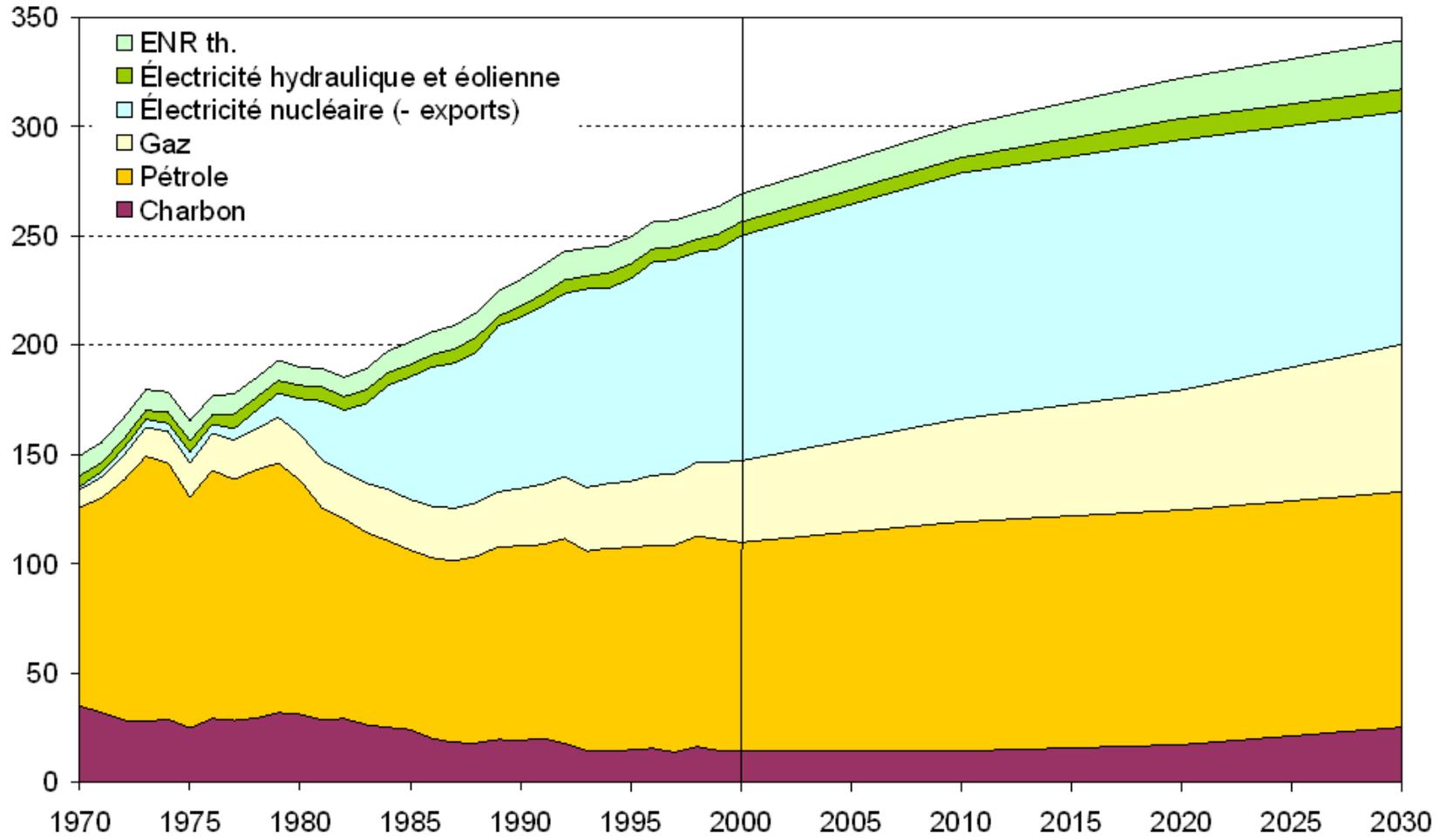
# Scénario Facteur 4

Hypothèses scénario " tendancier " à 2030:

- \* Croissance économique de +2,3% par an
- \* Croissance démographique +0,3%/an et stabilité pour la pop. active
- \* Parité de taux de change entre l'euro et le dollar US.
- \* Prix du Brent égal à 30 \$ par baril (dollar constant de 2003).
- \* Taux d'actualisation égal à 8% (en réel).
- \* Arrêt des exportations nettes d'électricité à l'horizon 2030.
- \* Part d'électricité d'origine " renouvelable " dans la consommation : taux de 21% atteint en 2010, conforme ensuite à un profil " tendancier " jusqu'en 2030.
  - \* Prise en compte du début des fermetures des anciennes centrales nucléaires et remplacement partiel par des réacteurs EPR (50 GW installés en fin de période).
  - \* Stockage du carbone : non prise en compte à l'horizon 2030.

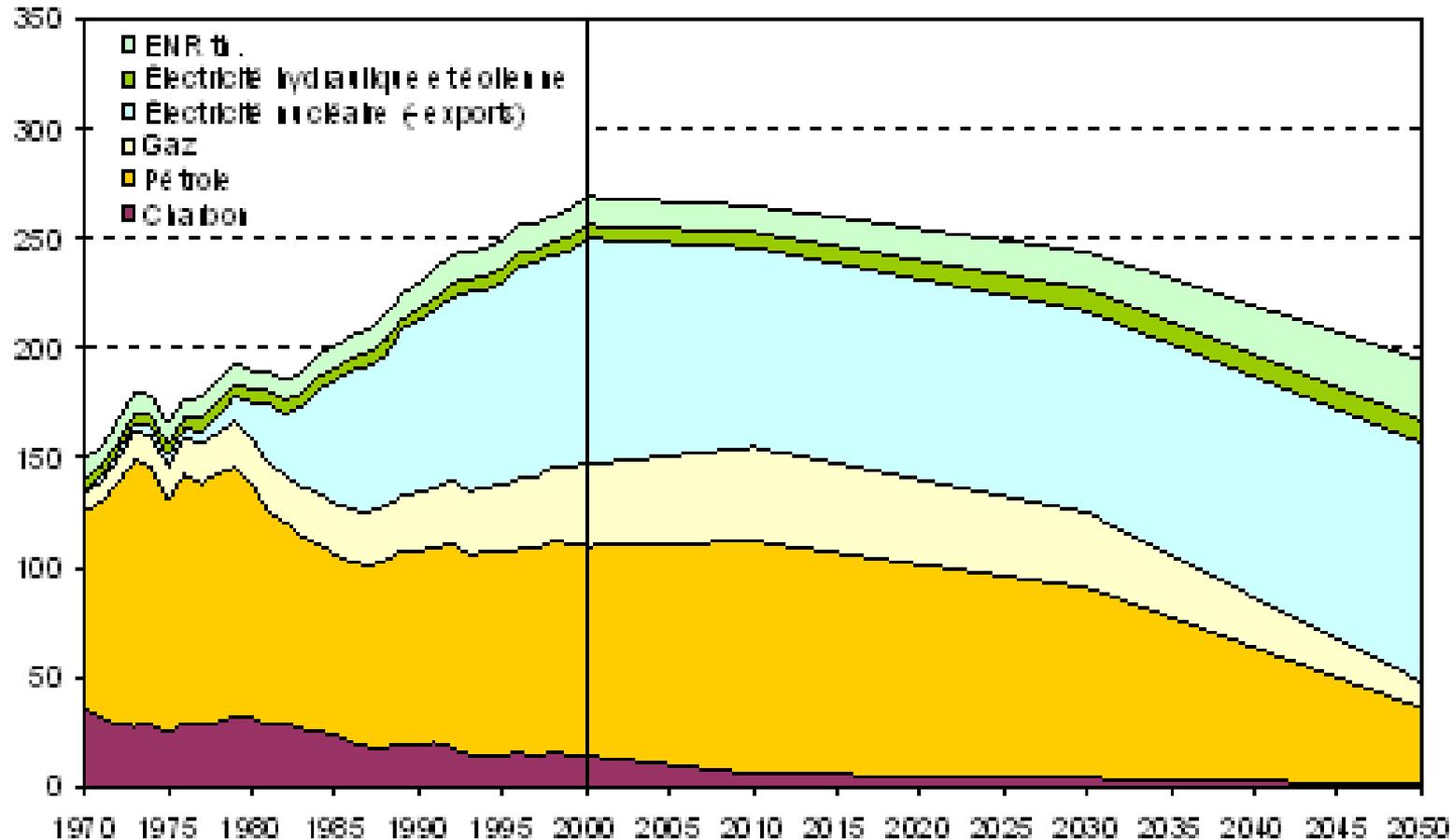
# Scénario Facteur 4

Consommation totale d'énergie primaire sur 1970-2030



# Scénario Facteur 4

Consommation totale d'énergie primaire sur 1970-2050



# Scénario Facteur 4

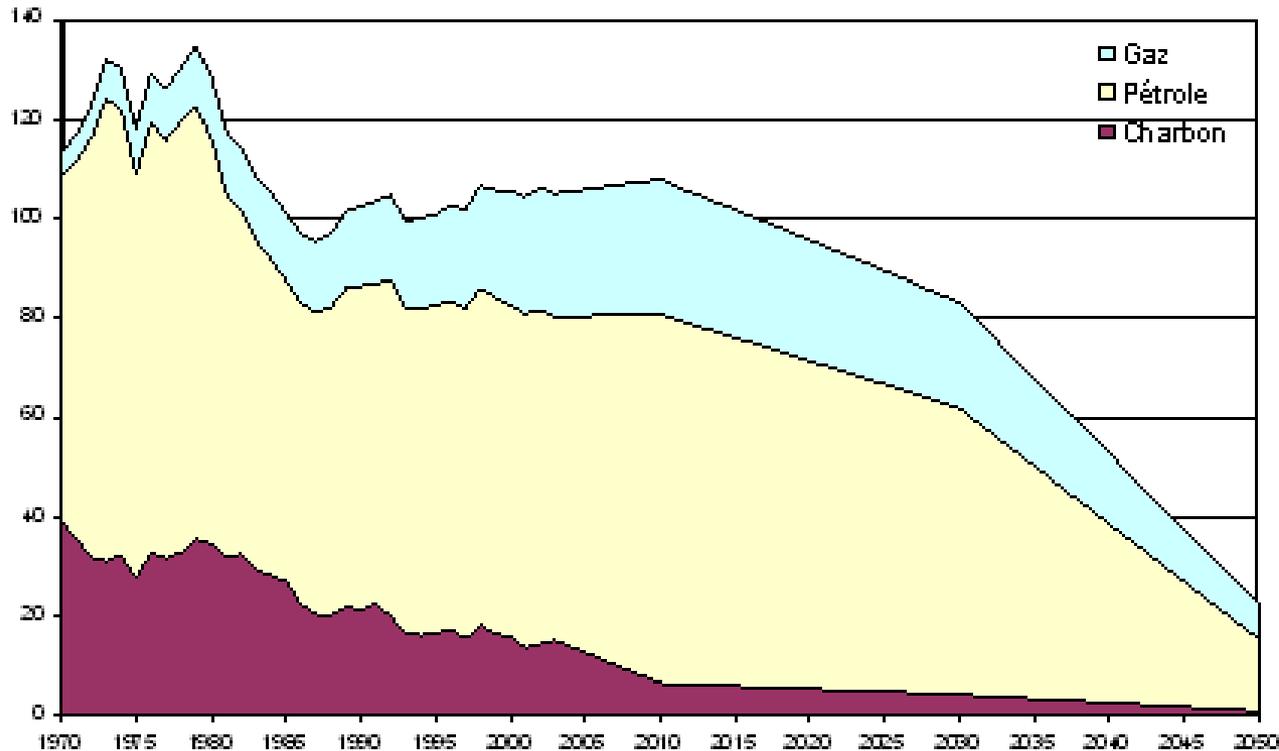
- baisse de la consommation globale
- hausse de la consommation d'électricité (+47% par rapport à 2000).

Concernant les transports

⇒ croissance considérable de consommation d'électricité

⇒ consommation significative d'hydrogène (5 à 7 Mtep) et de biocarburants (4 Mtep, soit un niveau d'incorporation de 10%)

# Scénario Facteur 4



Émissions de CO2 dues à l'énergie sur 1970-2050

# Scénario Facteur 4

## Quatre interdits :

- \* différer la mise en place d'infrastructures compatibles avec les fortes économies d'énergie à réaliser, notamment dans le bâtiment et les transports,
- \* consommer de façon importante des énergies fossiles à des fins thermiques,
- \* consommer de façon importante des énergies fossiles pour produire de l'électricité,
- \* maintenir la prépondérance du pétrole dans les transports.

# Scénario Facteur 4

## Quatre incontournables :

- \* accroître l'efficacité énergétique dans tous les secteurs,
- \* économiser l'électricité en usage " de pointe ",
- \* modifier structurellement les comportements dans les transports,
- \* développer l'offre en nucléaire et en énergies renouvelables.

# Scénario Facteur 4

Trois besoins de ruptures technologiques :

- \* développement de technologies très basses émissions dans toutes les activités humaines,
- \* stockage de l'électricité et/ou développement des usages de l'hydrogène,
- \* captation et stockage du CO<sub>2</sub>.

=> mise en oeuvre **rapide** de politiques et mesures qui permettront d'obtenir les " incontournables " de façon **progressive et acceptable**;

=> nécessité d'un investissement dans la R&D, indispensable pour atteindre les ruptures technologiques et, pour la France, le cas échéant d'en obtenir la **maîtrise commerciale**.

# R et D : France

Budget de l'Etat 2006: **276 254** M€

Ministère de la recherche et de l'enseignement sup: 20 700 M€  
(dont 12 000 M€ formation)

=> Programme recherche : 3 726 M€ (CNRS : 2309 M€)

Recherche dans le domaine de l'énergie : 660 M€ pour 3 actions :

- Compétitivité, sûreté et développement de l'énergie nucléaire : 417 M€ (388 M€ )
- NTE : 57 M€ (34 M€ )
- Compétitivité et développement du secteur hydrocarbures, des infrastructures, diversification des réserves: 183 M€ (192 M€)

# R et D : France

Ministère de la recherche et de l'enseignement sup:

Crédit de pg : Recherche dans le domaine de l'énergie :

3 établissements sont opérateurs :

- CEA civil (Recherche, Industrie)
- ADEME (Environnement, Recherche, Industrie)
- IFP (Industrie)

# R et D : France

Ministère de la recherche et de l'enseignement sup:

Crédit de pg : Recherche dans le domaine de l'énergie :

3 établissements sont opérateurs :

- CEA civil (Recherche, Industrie) :  
Nucléaire : 417 M€  
NTE (H2, PAC, Photovoltaïque, matériaux) : 34 M€
- ADEME (Environnement, Recherche, Industrie) : 5 M€  
NTE (Utilisation rationnelle, ENR) : 5 M€
- IFP (Industrie) : 192 M€  
NTE (H2, CO2, bioénergies) : 17 M€  
Hydrocarbures : 175 M€

# R et D : France

**ANR** : agence de financement de projets de recherche

Budget 2006 : 800 M€

L'ANR s'adresse à la fois aux établissements publics de recherche et aux entreprises avec une double mission : produire de nouvelles connaissances et favoriser les interactions entre laboratoires publics et laboratoires d'entreprise en développant les partenariats.

Biologie & Santé

Ecosystèmes & Développement Durable

**Energie durable & environnement: 160 M€**

Matière & Information

Programmes non-thématiques

Sciences Humaines et Sociales

Prospectives énergétiques

# R et D : France

Vulnérabilité : climat et milieux

Captage et stockage du CO2

Programme Génie Civil et Urbain

Catastrophes telluriques et tsunامي

Programme Ecotechnologies et Développement Durable

Programme National de Recherche sur le Solaire

Photovoltaïque

**Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustible (PAN-H) : 58 M€**

Programme National de Recherche sur les Bioénergies (PNRB)

Programme de Recherche et d'Innovation dans les Transports terrestres (PREDIT)

Programme de Recherche sur l'Energie dans le Bâtiment (PREBAT)

# Prospectives énergétiques -UE

## 2000 - Livre Vert de la Commission Européenne

- ✦ des besoins croissants : 2.5 à 3% par an dans le monde !
- ✦ autonomie énergétique, sécurité d'approvisionnement:
  - ✦ taux de dépendance Europe 50% => 70 % en 2020!!
  - ✦ Dépendance vis-à-vis du pétrole, Gaz naturel (Russie, Algérie), gazole(Russie), Essence (USA)
- ✦ exigences environnementales : le réchauffement climatique, les pollutions locales (air, bruit)

## 2001 - Livre Blanc de la Commission Européenne

- ✦ inscrire les transports dans une logique DD

# Prospectives énergétiques -UE

## Sécurité des approvisionnements

45 % des importations de pétrole proviennent du Moyen-Orient et 30 % des importations de gaz naturel de Russie.

*La stratégie à long terme de sécurité des approvisionnements énergétiques de l'UE doit viser à assurer, pour le bien-être des citoyens et le bon fonctionnement de l'économie, la disponibilité physique et continue des produits énergétiques sur le marché, à un prix accessible à tous les consommateurs, dans le respect des préoccupations environnementales et la perspective du développement durable.*

# Prospectives énergétiques -UE

## Sécurité des approvisionnements

La sécurité d'approvisionnement ne vise pas à maximiser l'autonomie énergétique ou à minimiser la dépendance, mais à réduire les risques qui seraient liés à celle-ci.

Objectifs :

équilibre et diversification des différentes sources d'approvisionnement (par produits et par régions géographiques)  
l'adhésion des pays producteurs à l'OMC.

# Prospectives énergétiques -UE

## Sécurité des approvisionnements

nucléaire => analyse globale et débat : la décision de la plupart des États membres de se désengager de la filière

Hydrocarbures :

- prévoir un dispositif renforcé de stocks stratégiques
- prévoir de nouvelles routes d'importations.

# Prospectives énergétiques -UE **Priorités Européennes:**

**1. Contrôler la demande** => prise de conscience individuelle et généralisée de la nocivité d'une conso. énergétique incontrôlée  
=> faire payer l'énergie à son juste prix tout

=> encourager les économies d'énergie.

- bâtiments (isolation)

- transports (rendements, biocarburants puis H2)

=> Assurer la diffusion de nouvelles technologies

(expérimentation à grande échelle)

## **2. Réglementer**

- électricité : de 15 à 21% à partir d'EnR en 2010

- biocarburants: 5,75 % en 2010, carburants alternatifs: 20% en 2020

## **3. Développer la recherche communautaire**

- Priorité à l'Hydrogène et les piles à combustibles

# Prospectives énergétiques -UE

## Livre blanc : transports

Le transport dépend à 98 %, du pétrole, importé à 70%.

2010 : +38% marchandises, +24% voyageurs, le trafic de poids lourds + 50%

Le transport représente plus de 10 % du PIB et emploie plus de 10 millions de personnes.

**Routes** : parc auto X3 en 30ans, + 1200 km/an de routes  
84% CO2  
44% du fret et 79% du transport de passagers  
1/10 du réseau transeuropéen est saturé

**Rail** : fermeture de 600 km/an  
8% du fret et 6% pour les passagers.

# Prospectives énergétiques -UE

## Livre blanc : transports

**Air :** + 7,4%/an de trafic depuis 1980  
+ 30% de liaisons entre Etats membres depuis 1993  
=> Saturation du ciel et des aéroports => retards :+ 6%  
consommation de carburants  
13% des émissions de CO2

## Eau:

1 barge = 110 camions

Le réseau est fiable, économique, peu polluant, peu bruyant et peu consommateur d'espace et a des capacités disponibles.

# Prospectives énergétiques - USA

- Réserves importantes de charbon
- fin de la dépendance en gaz
- Dépendance accrue vis à vis du pétrole
  - ⇒ Sécurité d'approvisionnement pour conserver une énergie abondante par tous les moyens
  - ⇒ Politique active, agressive
  - ⇒ très fort dynamisme de la recherche pour l'H2 et les réductions de CO2.

# Prospectives énergétiques - **Conclusions**

1. Pic du pétrole => prix de + en + élevé
2. Généralisation du protocole de Kyoto => classement nouveau du prix des énergies
3. Pic du gaz => prix de + en + élevé  
Arrivée sur le marché des nouvelles techno (H2, PAC, biocarburants)
4. Séparations des usages fixes et des usages transports

# Prospectives énergétiques - **Conclusions**

Faire des économies

=> En utilisant la technologie et l'éducation

Trouver le meilleur panachage énergétique

=> Il dépend de chaque pays, de la région

Utiliser toutes les sources d'énergies

Investir dans l'avenir

=> La recherche est primordiale pour diminuer les coûts de l'énergie, augmenter les rendements, stocker l'énergie efficacement et à faible coût

**Des ruptures technologiques peuvent complètement changer le paysage**

# Etat des lieux - Conclusion

L'avenir sous fortes contraintes (disons jusqu'à 2050):

- Forte augmentation de la population
- Forts besoins en énergie
- vulnérabilité de l'approvisionnement
- déséquilibre de ressources => interdépendance de différentes zones géographique => conflits
- raréfaction sensible et rapide du pétrole et du gaz
- *accélération de la dérive climatique*

Et de fortes incertitudes

=> Grande inertie du système énergétique mondial et des phénomènes de dérive climatique

# Contentieux Franco-Iranien

L'usine d'Eurodif (Georges Besse) fournit en uranium enrichi une quarantaine de producteurs d'électricité dans le monde, dont EDF.

L'uranium naturel 238 contient 0,7 % d'uranium 235. Il est enrichi jusqu'à 5 % par un procédé de diffusion gazeuse. L'usine Eurodif consomme 17 TWh par an, or la centrale nucléaire de Tricastin produit environ 25 TWh/an (Areva= le plus gros client d'EDF).

Création de l'usine Georges Besse II (centrifugation = 10 à 40 fois moins d'électricité) : accord signé le 24 novembre 2003 entre AREVA et URENCO

La fin des opérations de démantèlement de l'usine actuelle "George Besse" est prévue pour fin 2020. La nouvelle installation "George Besse II" devrait enrichir de l'uranium à partir de fin 2007.

# Contentieux Franco-Irannien

Eurodif est une coentreprise créée en 1973 entre 5 pays : la France, la Belgique, l'Italie, l'Espagne et la Suède.

En 1975, la part suédoise de 10% => l'Iran

L'Iran prête un milliard de \$US pour la construction de l'usine => droit d'acheter 10% de la production d'uranium enrichi du site.

1979 : l'Iran suspend ses paiements et réclame le remboursement du prêt

En avril 1979 : inauguration d'Eurodif.

    Khomeiny rompt le contrat de fourniture de centrales nucléaires

    La France refuse de laisser l'Iran exercer son statut d'actionnaire.

1981 : mise en service de l'usine => l'Iran réclame 10% de la prod => la France refuse.

De 1981 à 1991, le régime des mollahs est soupçonné d'avoir perpétré plusieurs assassinats, prises d'otages et attentats meurtriers

# Contentieux Franco-Iranien

Le 17 novembre 1986, après plusieurs attentats meurtriers à Paris, et l'enlèvement de journalistes français retenus en otage au Liban par des groupes liés à l'Iran, la France rembourse 330 millions \$, mais refuse de fournir toute livraison d'uranium enrichi. Le même jour se produit l'assassinat de Georges Besse, le fondateur d'Eurodif.

En décembre 1987 a lieu un 2eme versement officiel de 330 millions \$ par la France à l'Iran.

Le 6 mai 1988, entre les deux tours de l'élection présidentielle, les otages français sont libérés.

1991 : accord => la France rembourse 1,6 milliards \$.

=>L'Iran est rétabli dans son statut d'actionnaire, avec le droit de prélever 10 % de l'uranium enrichi à des fins civiles.

De source diplomatique française, on indique que l'Iran est bien membre d'Eurodif. Mais en l'absence de centrale nucléaire civile opérant en Iran, il n'y a pas de livraison d'uranium enrichi.

Un peu d'histoire