

Passages

bea
CONSULTING

LES ENJEUX TECHNOLOGIQUES DE L'ENERGIE

Jean-Pierre HAUET

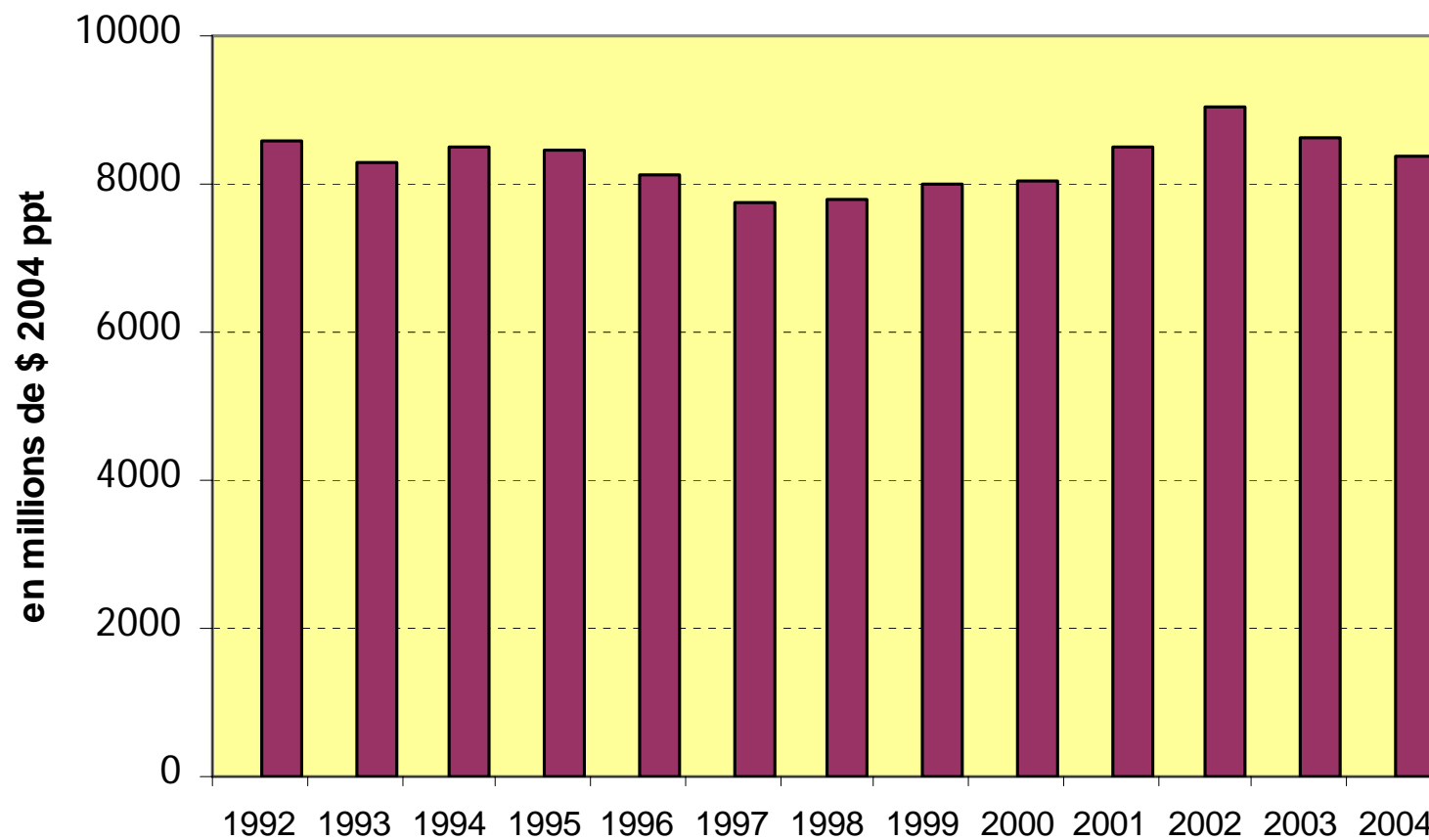
www.beaconsulting.com

Juin 2006

**Royaume du Maroc – Haut-Commissariat au Plan
La prospective énergétique du Maroc – 9 & 10 juin 2006**

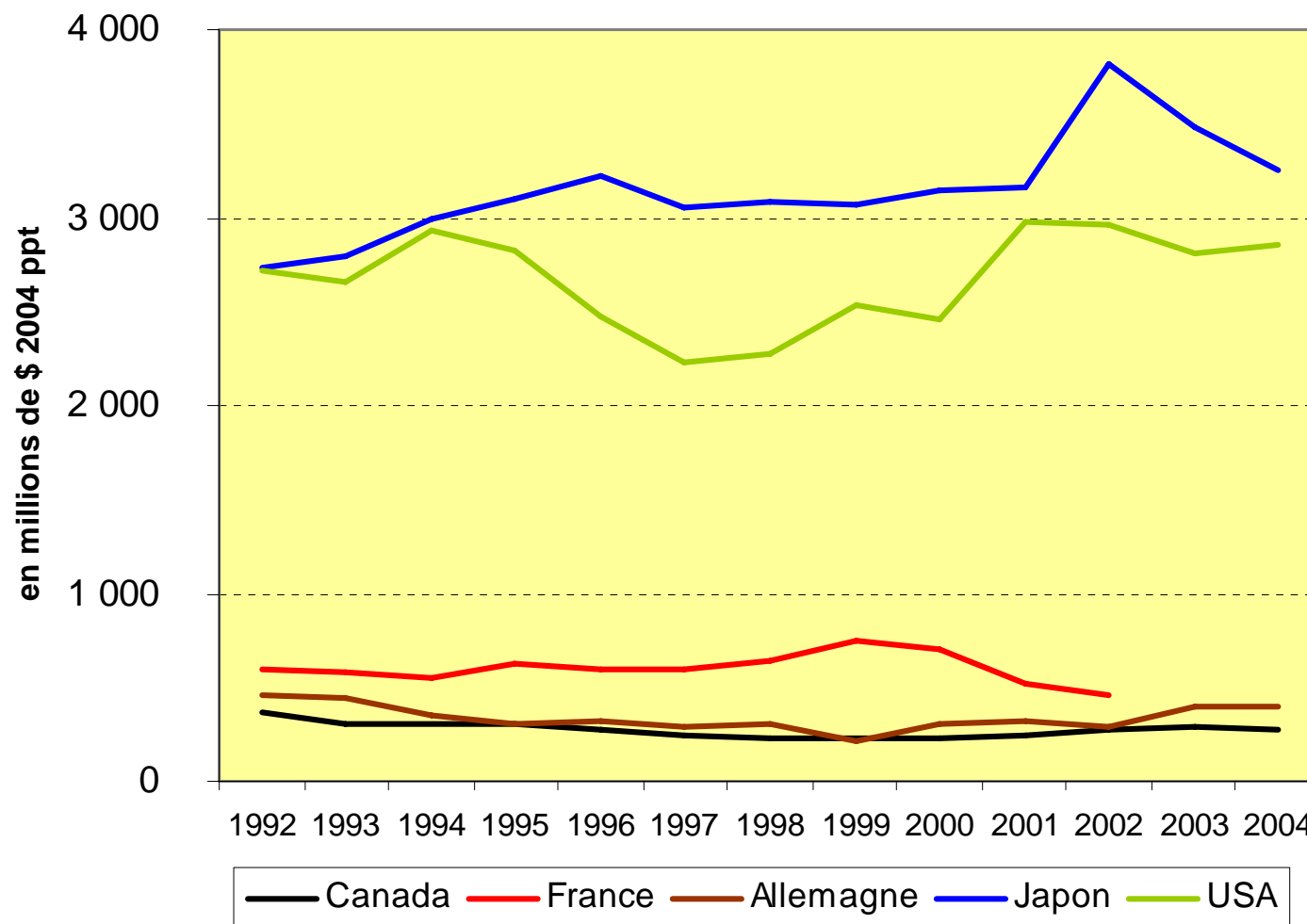
Un effort de R&D globalement stable

Evolution de l'effort de R&D dans le domaine de l'énergie dans le monde (AIE)



Source : AIE

Les grands acteurs de la R&D dans le monde

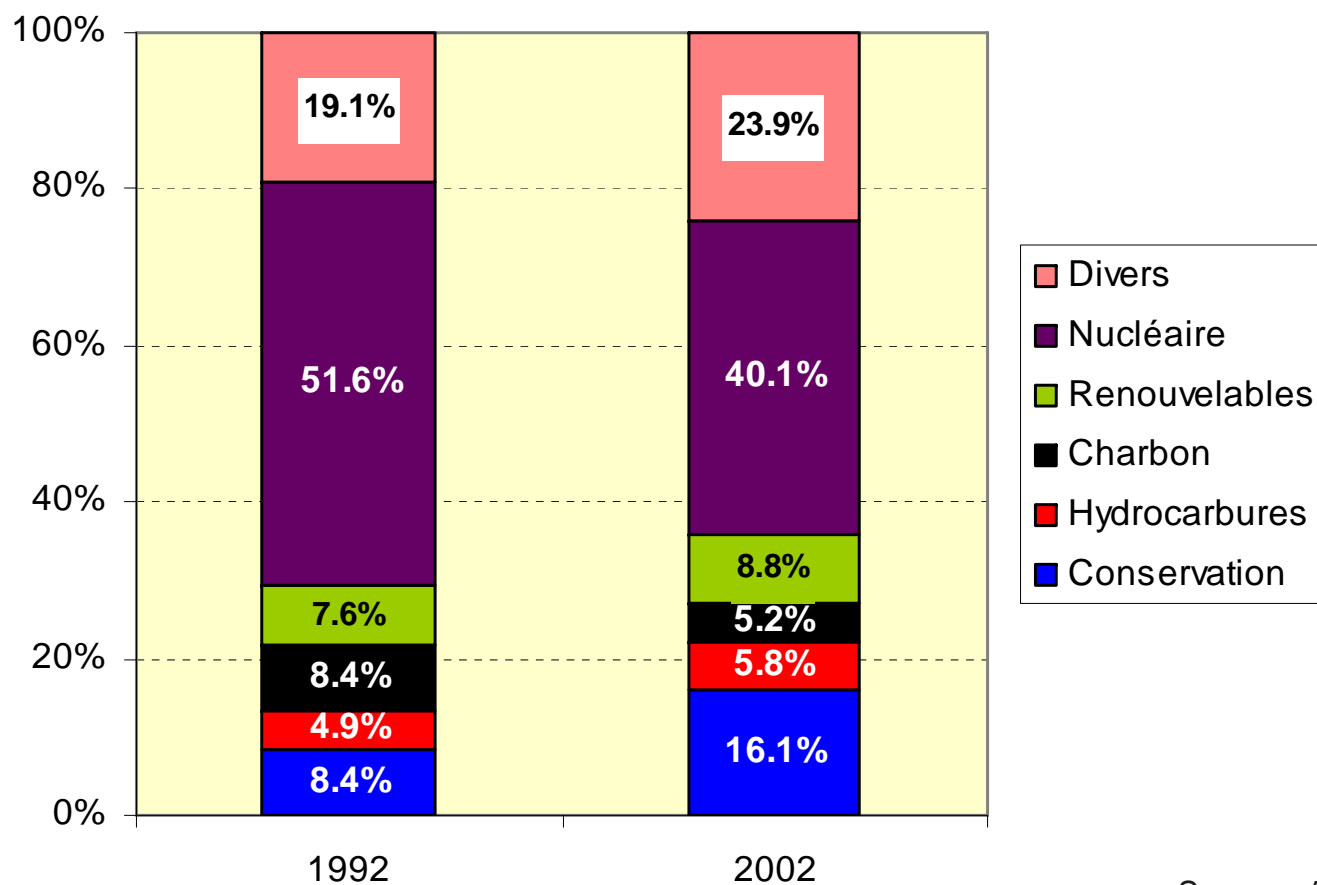


Source : AIE

La R&D en énergie reste localisée dans un petit nombre de pays

La répartition de l'effort de R&D

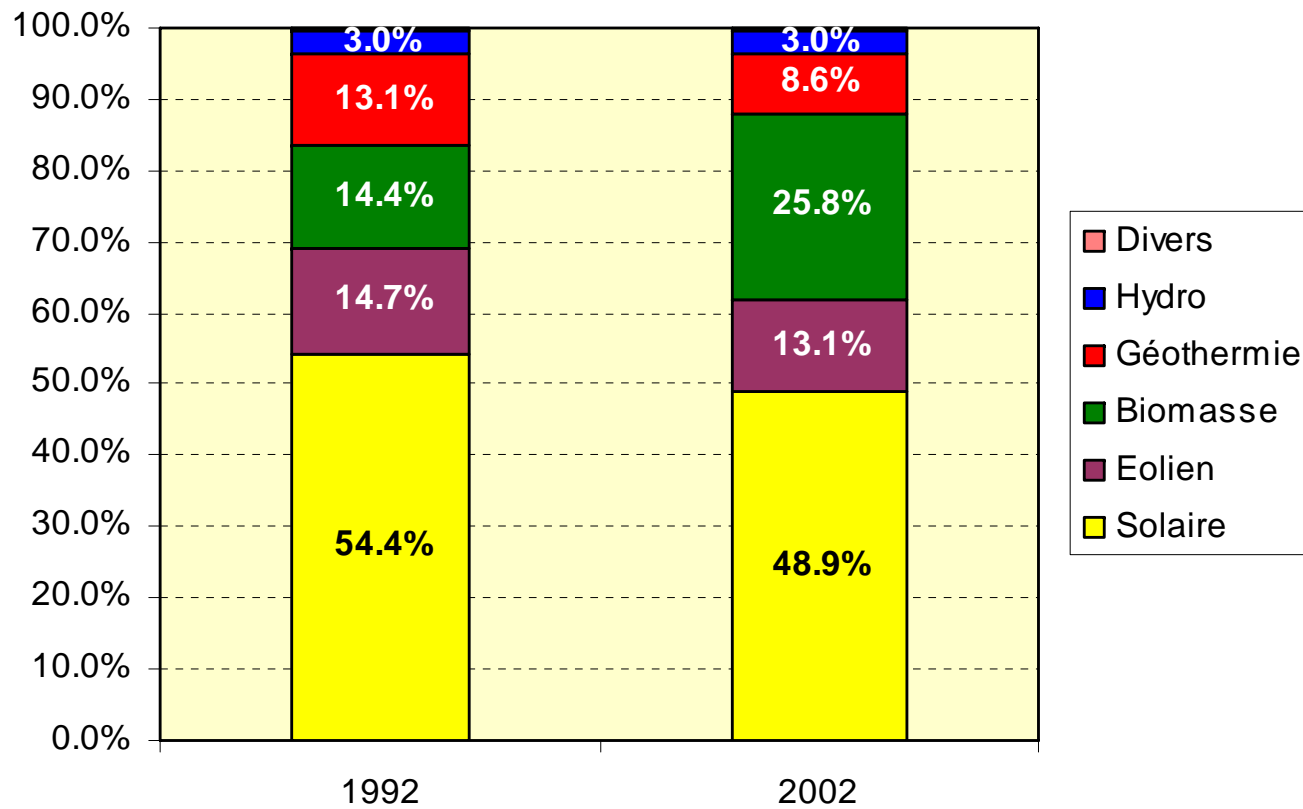
Une évolution assez stable mais avec des inflexions



Source : AIE

L'effort dans les renouvelables

L'émergence de la biomasse



Source : AIE

Le nouveau contexte énergétique



- Un prix du brut à plus de 70 \$/BBL et une prise de conscience, à un niveau jamais atteint, de sa raréfaction progressive
- Des craintes sur l'approvisionnement en gaz, après notamment « l'épisode » ukrainien
- Une contrainte climatique de limitation des émissions de gaz à effet de serre qui n'existait pas lors des précédents chocs pétroliers
- ➔ **Tous les pays revisitent leurs stratégies énergétiques et réévaluent les technologies alternatives au pétrole. Deux sensibilités émergent:**
- La position américaine, faisant pleine confiance à la capacité des équipes de R&D pour apporter en temps voulu la réponse appropriée
- La position européenne, davantage axée sur l'ouverture des marchés, l'évolution des comportements, l'encadrement réglementaire ou normatif



Le nécessaire effort technologique



- Quelle que soit l'approche politique suivie, la nécessité d'un effort technologique important est reconnue
- L'extrapolation des « errements » actuels ne conduit pas à une solution soutenable sur le moyen et long terme
- La prise en compte du facteur climatique modifie sensiblement les données de l'analyse :
 - Dans de nombreux cas, il y a convergence entre contrainte CO₂ et économie d'énergie et/ou de pétrole
 - Mais il peut y avoir antinomie : charbon, biomasse (dans certains cas)
- L'intérêt d'une filière s'apprécie désormais sous trois axes:
 - Ses perspectives technico-économiques en termes de substitut aux hydrocarbures
 - Son potentiel d'abattement des émissions de CO₂
 - Son intérêt local, compte tenu des données spécifiques à chaque pays

Prendre en compte les données locales



- Les données locales du problème de l'énergie sont insuffisamment prises en compte dans les stratégies générales de R&D menées par les pays les plus développés économiquement :
 - Liaison eau-énergie (contraintes induites par l'insuffisance des ressources, problème du dessalement, gestion de la biomasse etc.)
 - Climat
 - Ensoleillement
 - Ressources géothermales
 - Structure de l'habitat (desserte des zones rurales)
 - Données socio-culturelles, etc.

Les enjeux technologiques ne sont pas seulement ceux des équilibres globaux. Les mécanismes actuels (développement propre de Kyoto par exemple) sont insuffisants pour prendre compte convenablement la composante locale.



Quels choix avons-nous?

- A long terme (2100), les solutions envisageables sont d'une très grande diversité et il n'y pas de risque pour l'humanité de manquer d'énergie (nouvelles filières nucléaires, nouveaux modes de captation de l'énergie solaire, civilisation de l'hydrogène ou du zinc, etc.)
- Le cap difficile à passer se situe dans les années 2030-2050, en raison de :
 - La croissance rapide des besoins des pays en développement
 - La contrainte climatique qui impose une forte diminution des émissions de CO₂ à cet horizon
 - Une absence d'initiatives nouvelles majeures pendant les 15 dernières années de relative abondance
 - Les leçons tirées des deux chocs pétroliers qui ont montré les limites d'un certain nombre d'options (énergie des vagues par exemple).



Une dizaine d'options sont ouvertes



- L'utilisation rationnelle de l'énergie
- Le pétrole non conventionnel
- Les nouvelles techniques de valorisation du gaz
- Le charbon propre (y compris captage et stockage)
- Les filières nucléaires nouvelles
- La filière photovoltaïque (sans négliger le thermo-solaire : Ain Beni Mathar)
- La conversion de la biomasse
- L'énergie éolienne
- La géothermie
- Éventuellement, les piles à combustible

Sans oublier:

- Les techniques de conversion (électronique de puissance) nécessaires notamment aux systèmes décentralisés
- La modernisation des réseaux de transport et de distribution



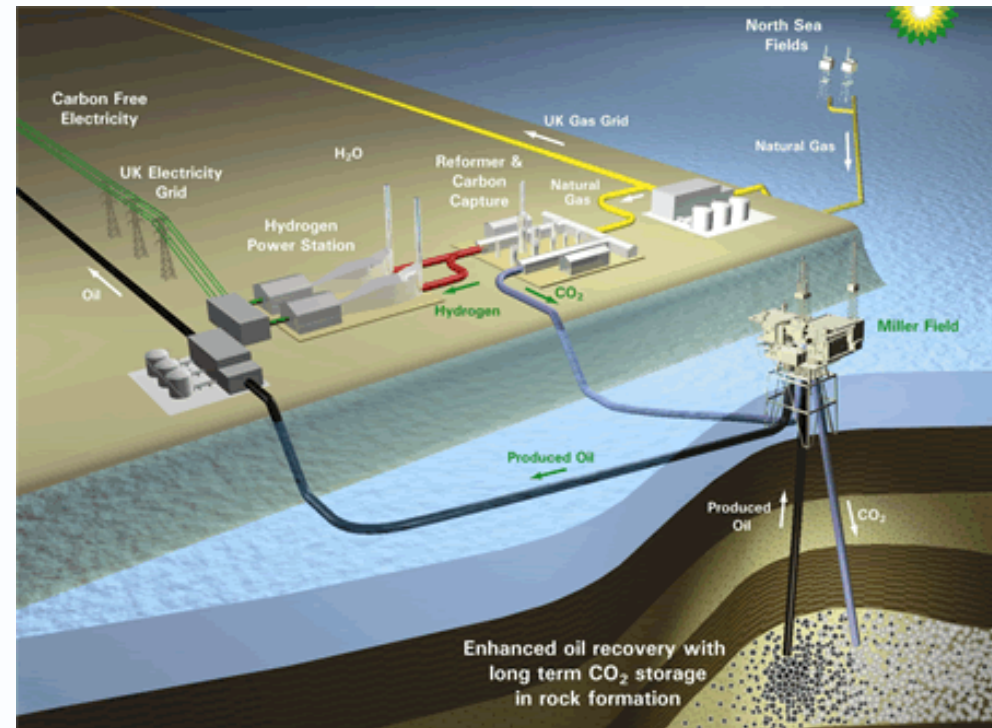
L'utilisation rationnelle de l'énergie



- Problème universel
- Revêt différentes formes :
 - Habitat performant (approche bioclimatique, meilleure isolation, vitrages, gestion de l'énergie), dans le neuf et dans l'ancien
 - Conception de l'urbanisme
 - Tourisme « durable »
 - Amélioration de l'efficacité des procédés industriels (la lutte contre les émissions de CO₂ y incite)
 - Développement des transports en commun
 - Amélioration des performances des véhicules
 - Eclairage basse consommation
 - Action sur les comportements
- Impact global difficile à chiffrer mais des économies additionnelles de 15 % minimum **par rapport à la tendance** sont réalistes à un coût faible voire négatif

Le pétrole non conventionnel

- Les réserves de schistes bitumineux (ex : bassins de Timahdit et de Tarfaya) et de sables asphaltiques sont considérables.
- Les techniques de prospection et d'exploitation en off-shore profond continuent de progresser



Source : BP

- Les expériences de récupération assistée par réinjection de CO₂ offrent des perspectives très intéressantes sur le plan du stockage du CO₂ et de l'exploitation des gisements (pilotes de Sleipner et In-Salah, Projet Miller de BP) .

L'utilisation optimale du gaz

- Amélioration continue du rendement des centrales : 60 % pour les nouvelles générations de TAG à CC (58 % à Tahaddart – 384 MW – niveau de l'état de l'art actuel)

Nota : une augmentation du rendement de 2 % permet, en plus des économies, de réduire les émissions de CO₂ de 40.000 tonnes par an, ce qui correspond aux gaz d'échappement émis par 10.000 Golf Volkswagen parcourant 20.000 km par an.

- Valorisation des GPL
- Développement de la filière GtL (Gas to Liquid)
- Amélioration de la chaîne GNL

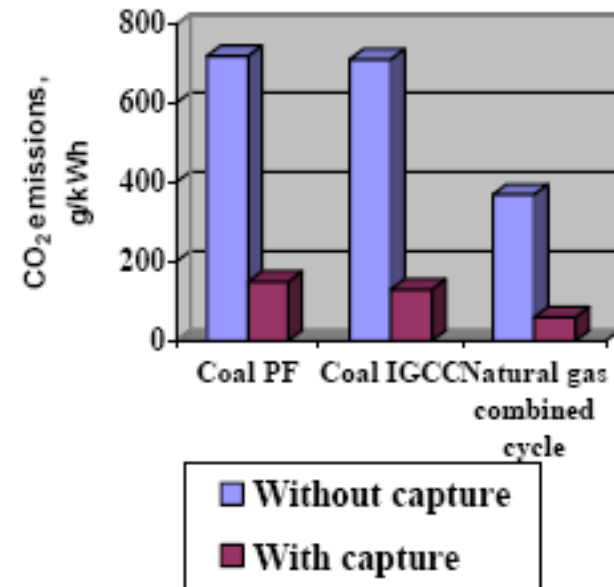


Le charbon propre

- Le renouveau du charbon dans les pays européens (et au Maroc) pour la production d'électricité est une des évolutions majeures des dernières années
- Le rendement des centrales pourra être porté, en technologie IGCC (Integrated Gas Combined Combustion), à 50 % environ (état de l'art actuel ~40 %)

- L'enjeu majeur est désormais celui du captage et du stockage du CO₂
Plusieurs techniques en compétition
- Premières réalisations industrielles en cours d'étude en GB (450 MW), aux USA, en Chine → horizon 2015

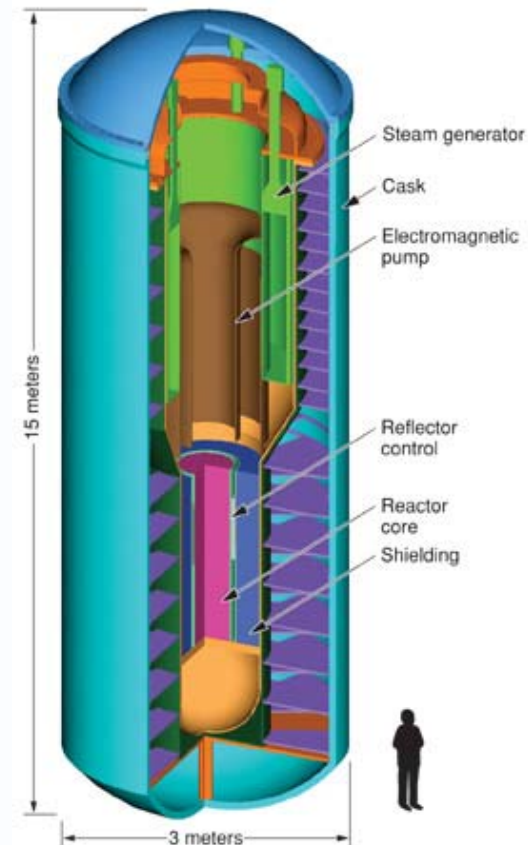
Power station CO₂ emissions



Les filières nucléaires nouvelles

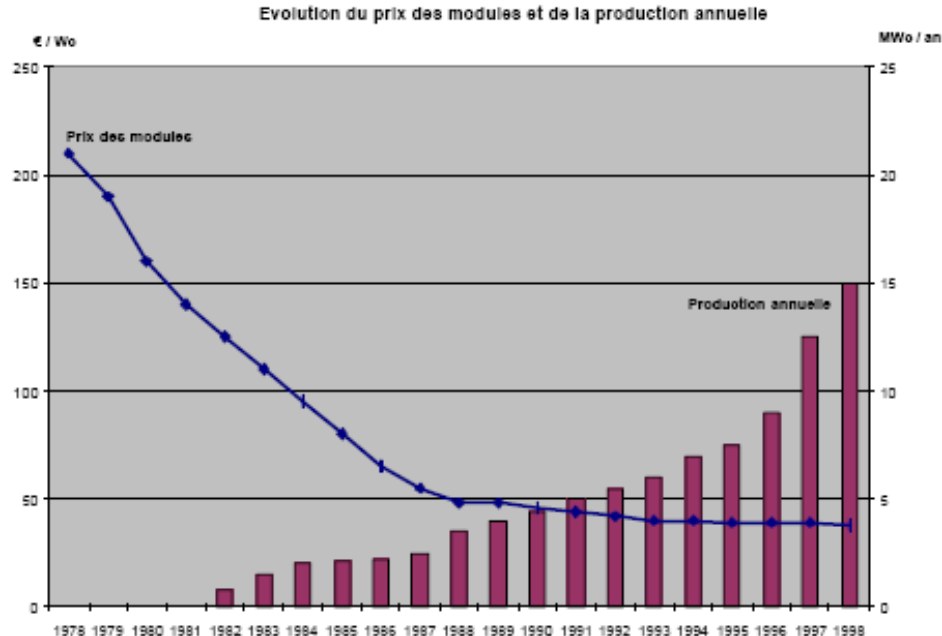
- La génération IV → intérêt potentiel pour le dessalement et la mise en valeur de gisements de pétroles non conventionnels (haute température)

- Projet SSTAR (Small, Sealed, transportable, Autonomous Reactor) de la DARPA (10 à 100 Mwe)



La filière photovoltaïque (1)

- Des progrès technologiques considérables au cours des prochaines années : meilleur rendement, meilleure fiabilité
- Un abaissement des coûts des modules : division par 2 tous les 10 ans en moyenne
- Une croissance forte des marchés (+30 % par an)



Source : BP Solar

La filière photovoltaïque (2)

- Le photovoltaïque reste cher : 35 000 € d'investissement pour une installation domestique en Europe – Prix de revient du kWh de l'ordre de 0,5 €/kWh (10 fois l'éolien) et du W crête de l'ordre de 10 €.
- Mais des voies de progrès très prometteuses existent pour diminuer les coûts et améliorer les rendements
- l'objectif de rendement de 20 % avec un prix de revient de 1 €/W en 2010/2015 n'est pas hors de portée
- Le programme 100 000 toits solaires est un succès en Allemagne
- Le photovoltaïque sort des marchés de niches et s'imposera pour l'alimentation des sites isolés

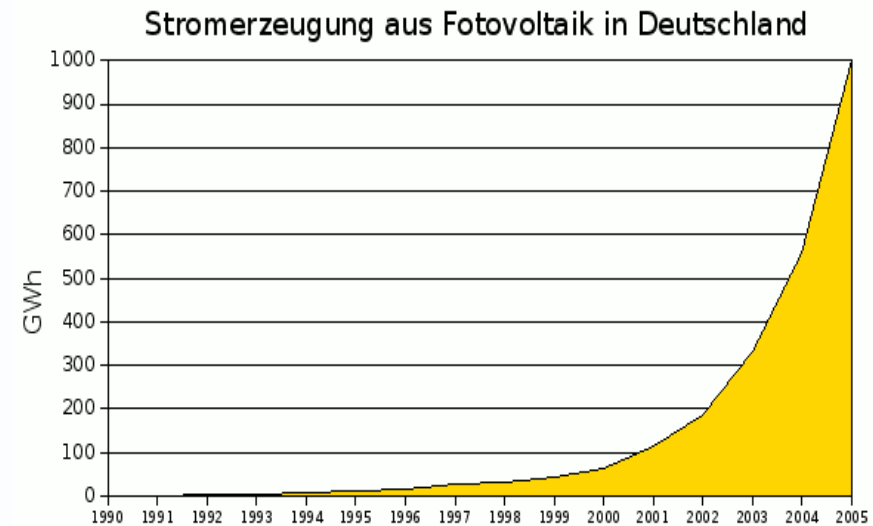


Diagramm erstellt für Wikipedia - gemeinfrei - 18. Feb 2006
Quelle: BMU, <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/36646/20010/>



L'utilisation de la biomasse

- Biocarburants : esters de colza ou de tournesol mélangés au diesel ou alcools mélangés à l'essence ou en utilisation directe.
- Perspectives d'utilisation de la cellulose (paille, bois...)
- Combustion (chêne vert par exemple)
- Production d'électricité à partir de bagasse, alfa, sciure et déchets de bois, margines, mélasses etc.
- La valorisation de la biomasse, bien conduite, peut donner lieu au Maroc à des projets de « développement propre » dans le cadre des mécanismes de Kyoto (bon rating du Maroc)
- Malgré ses limitations (problèmes de surface, d'épuisement des sols, de concurrence avec d'autres modes de valorisation des sols), la biomasse est devenue, dans le plupart des pays, l'une des composantes primordiales de la politique de promotion des énergies renouvelables

L'énergie éolienne (1)

- L'énergie éolienne a considérablement progressé en coût et en base installée au cours des 20 dernières années.
- Les progrès sont essentiellement liés à l'augmentation de la puissance unitaire des installations et à l'industrialisation des matériels

Figure 1: Growth in Size of Commercial Wind Turbine Designs

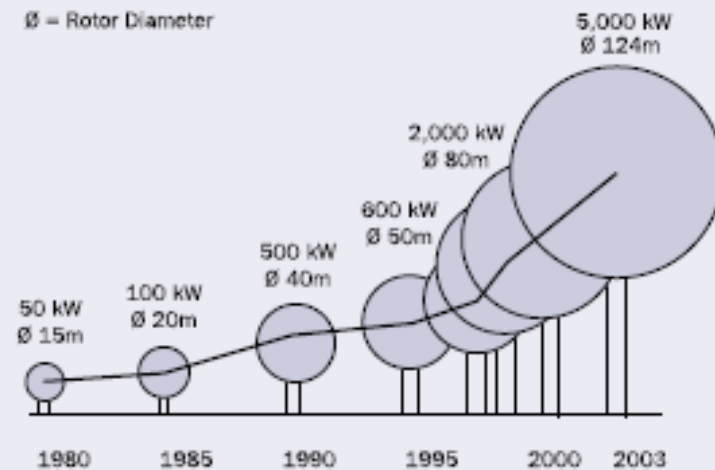
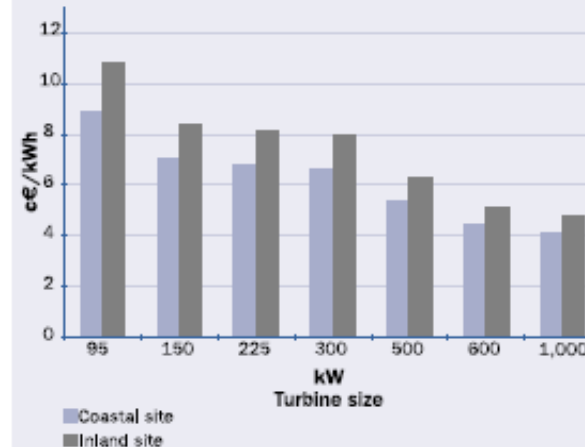


Figure 5.1: Total Costs of Wind Power (c€/kWh, Constant 2001 Prices) by Turbine Size



Source : EWEA

L'énergie éolienne (2)

- Prix de revient actuel : 5 à 6 cent€/kWh (1/10ème du photovoltaïque)
- Possibilité de descendre à 3 à 4 cent€ en 2010
- L'Allemagne, l'Espagne, le Danemark et à présent la France poursuivent leur programme d'équipement (plus de 30 000 MW installés en Europe des 15)
- l'énergie éolienne peut donner lieu (comme le photovoltaïque) à des projets de développement propre (ex : installations de Essaouira et de Tétouan)
- Toutefois des limitations existent :
 - caractère intermittent de la ressource : 1 500 à 2 500 h/an et aléatoire (canicule de 2004 et 1T 2006 en Allemagne)
 - problèmes de nuisances diverses
- Une solution possible : les fermes offshore



Les piles à combustible (1)

- 4 Mds € dépensés chaque année dans le monde en R & D

- Les avantages escomptés :
 - Meilleur rendement électrique
 - Absence de pollution
 - Modularité
 - Qualité de l'énergie
 - Indépendance du réseau

- Trois marchés visés
 - Les applications stationnaires (de 1 kW à 1 MW)
 - Les applications automobiles
 - les applications portables (électronique)

- les applications stationnaires intéressent le Maroc (électrification rurale, installations de secours), mais trois obstacles majeurs :
 - le coût : aujourd'hui de 5 000 à 10 000 €/kW
 - la durée de vie des cellules : aujourd'hui de 1000 à 2 000 h
 - l'approvisionnement en hydrogène pur



Les piles à combustible (2)

- **Le domaine reste cependant prometteur quoique très incertain**
 - Le couplage au photovoltaïque peut permettre l'approvisionnement en hydrogène et le fonctionnement de nuit
 - Les piles au méthanol se développent (de petites puissances actuellement) et des réformeurs de GPL en H₂ sont concevables
 - Les applications pour le secours se développent, notamment dans les télécoms (application possible : gestion du réseau électrique de distribution)

- **Pôle de compétences piles à combustible au Maroc?**



Conclusions

- Le contexte énergétique actuel redonne un très fort élan à l'innovation technologique dans le domaine de l'énergie
 - La composante climatique apporte une dimension nouvelle et les mécanismes de Kyoto peuvent ouvrir des opportunités
 - Il n'existe pas de solution unique; les voies techniques restent nombreuses
 - Le temps est compté aussi bien pour la France que pour le Maroc pour atteindre les objectifs 2030
 - Les techniques sont évidemment les mêmes. Mais le « mix » énergétique, intégrant les données locales, conduit à pondérer de façon différente le poids à donner à chacune d'entre elles
 - La concentration de l'effort de R&D dans très petit nombre de pays, différents du Maroc, fait que les priorités du royaume ne sont pas forcément suffisamment prises en compte
- Intérêt des coopérations, des échanges, des opérations pilotes concertées, des participations aux mécanismes Kyoto (MoU Maroc-France)**

Passages

The logo for bea CONSULTING features the word "bea" in a bold, blue, 3D-style font with a black swoosh above it. Below "bea" is the word "CONSULTING" in a smaller, black, all-caps sans-serif font. The background of the logo area is a blue film strip with a globe and barbed wire pattern.

bea
CONSULTING

www.beaconsulting.com