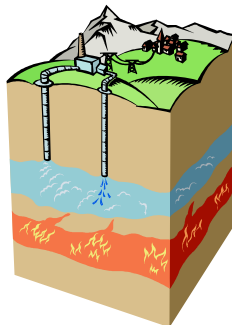


Les besoins en énergie, les ressources actuelles

Christian Ngô
ECRIN

ngo@ecrin.asso.fr

www.ecrin.asso.fr

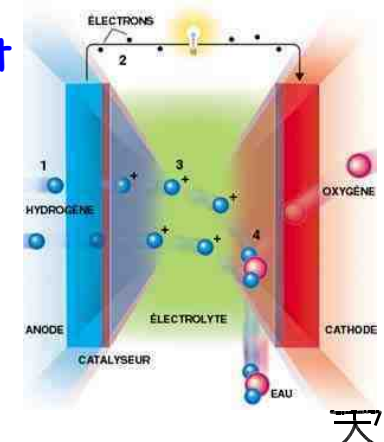


Pour en savoir plus

L'énergie : ressources, technologies et environnement ; C.Ngô, Dunod 2002

Déchets et pollution : impact sur l'environnement et la santé C.Ngô et A.Régent, Dunod 2004

Technologies du futur, enjeux de société, ECRIN, Omniscience, 2005



L'énergie : toujours plus

- ❑ La population augmente ($\approx 200\ 000$ habitants/jour)
- ❑ les pays en voie de développement (ou émergents) veulent augmenter leur niveau de vie ($2,8$ milliards d'habitants vivent avec moins de $2\$/$ jour)



Augmentation de la consommation énergétique

- Croissance mondiale prévue $\Rightarrow 2-2,5\%/$ an
 $2\%/$ an $\Rightarrow 7$ fois plus en 2100 \Rightarrow Insoutenable pour la planète

Le kWh (1 kW pendant une heure) 1kWh \Rightarrow

- ❑ remonter 3,6 tonnes d'eau d'une hauteur de 100 m
- ❑ un camion de 10 tonnes roulant à 100km/h

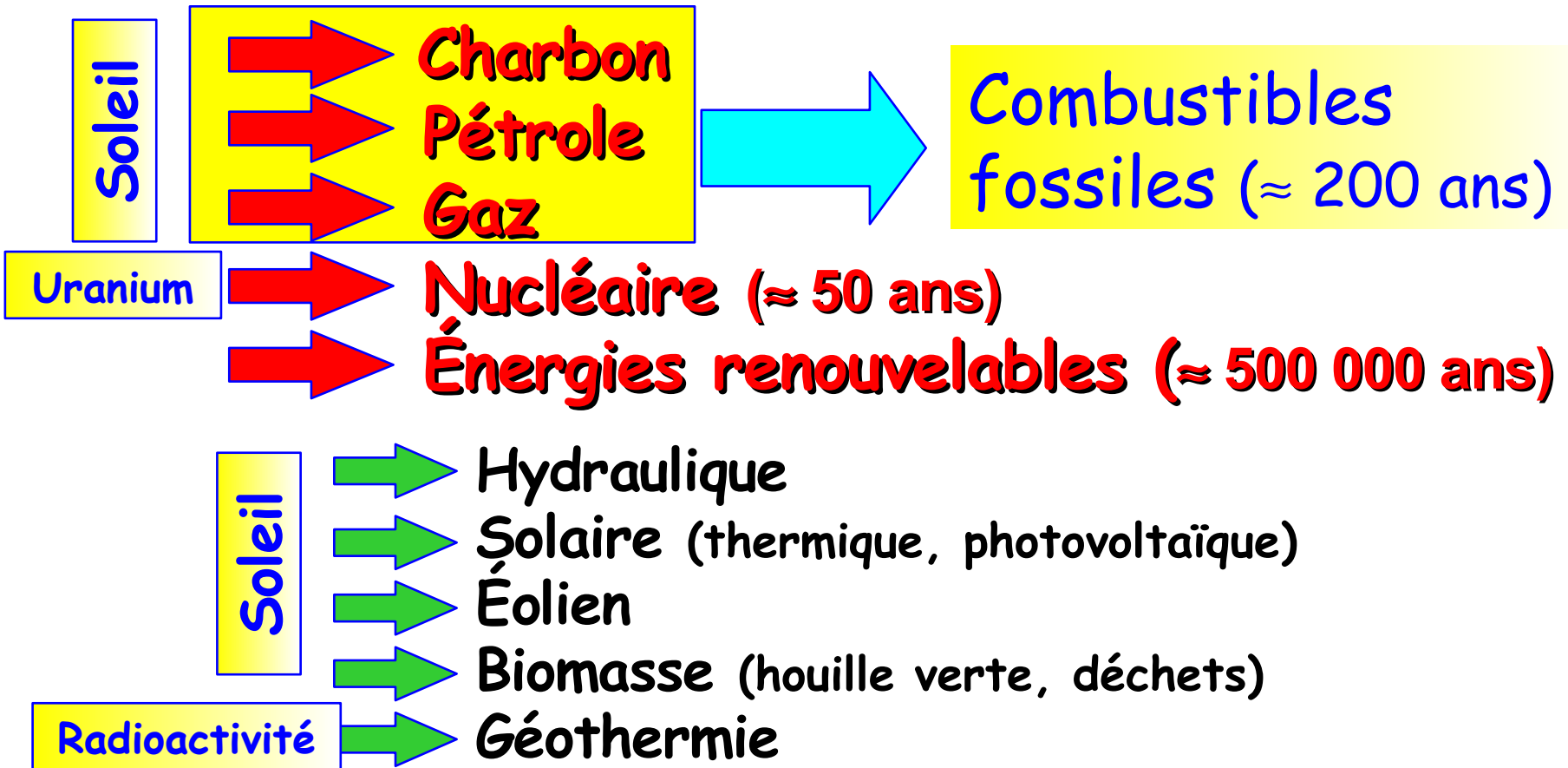
Le tep \rightarrow tonne équivalent pétrole ; Le baril de pétrole = 159 litres

Consommation mondiale (G=giga = milliard)

1800 (estimation) $\rightarrow 0,2$ Gtep/an (≈ 1 Ghab);

1900 $\rightarrow 1$ Gtep ($\approx 1,7$ Ghab); 2000 $\rightarrow 10$ Gtep (= 6 Ghab)

Sources d'énergie



La biomasse est renouvelable si l'on replante ce que l'on consomme

Énergie et vivant

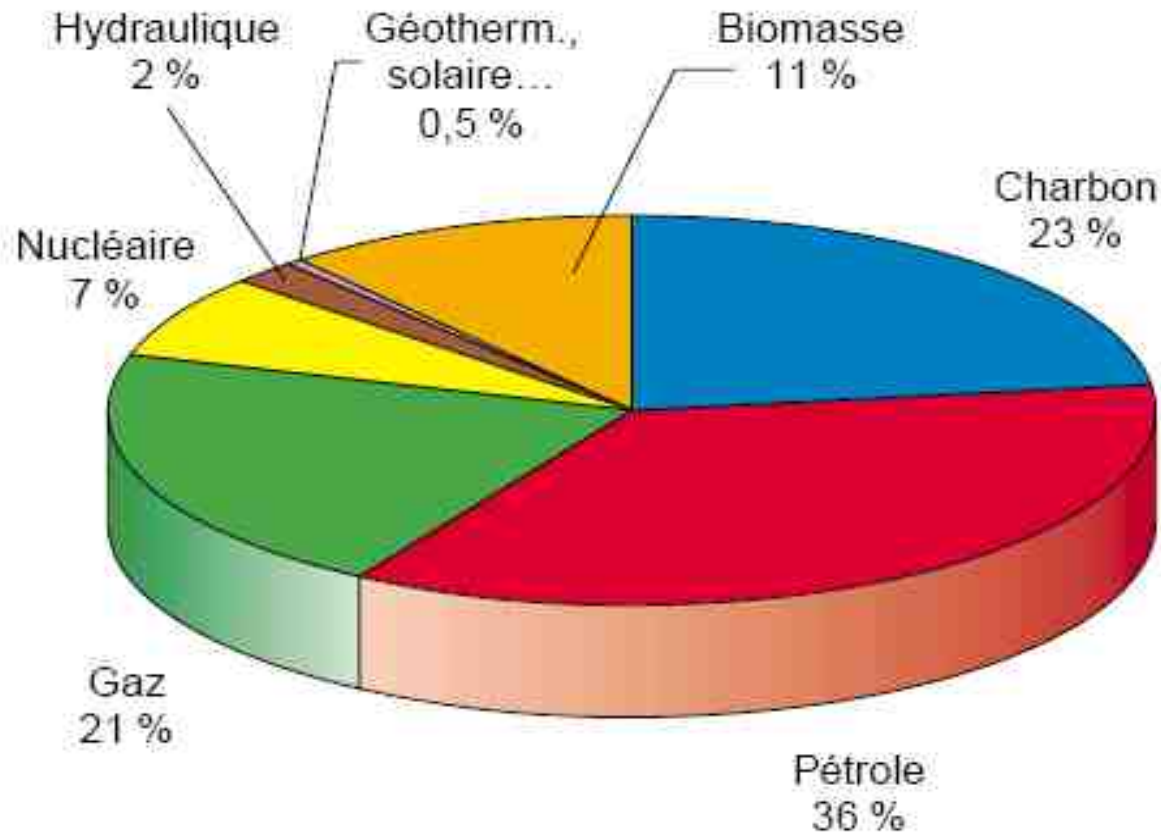
- ❑ L'homme a besoin de $\approx 2,7$ kWh/jour (une lampe de 110W allumée en permanence)
- ❑ Grossesse ≈ 90 kWh
Soit une centaine de km en voiture
- ⇒ **Nourriture** ⇒ équivalent à 500-600 Millions de tep
($\approx 6\%$ de notre consommation d'énergie totale)

Élaborer des matériaux demande de l'énergie

- ❑ Acier \approx environ 8 kWh/kg
- ❑ Papier, verre \approx environ 12 kWh/kg
- ❑ Aluminium \approx environ 80 kWh/kg

Il faut toujours avoir une approche globale du système

Un monde dominé par les combustibles fossiles



Source : « Energy Balances of Non-OECD Countries, 2001-2002 » IEA 2004 Edition.

Sans combustibles fossiles, la civilisation s'écroule

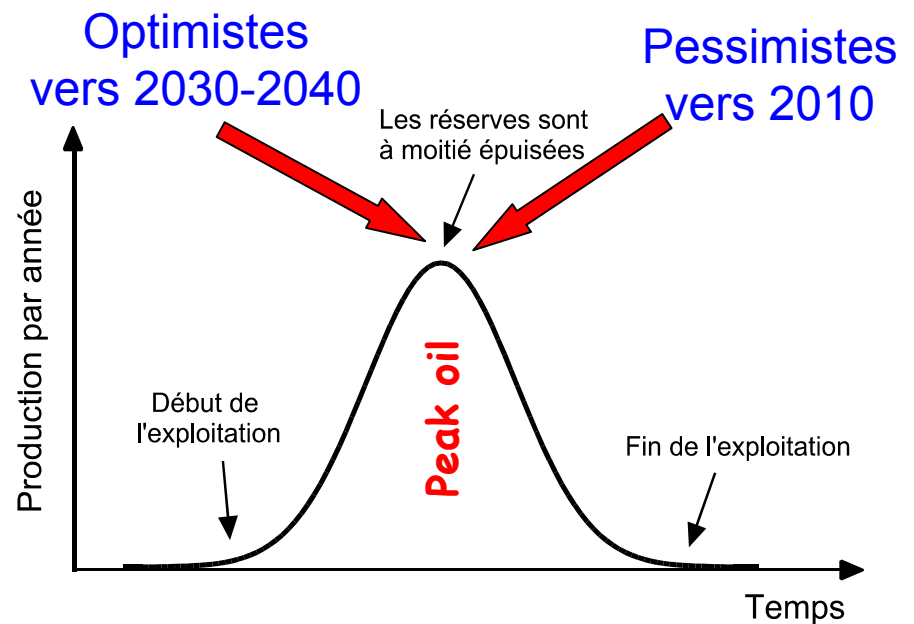
Le pétrole est encore bon marché (On trouve de l'eau minérale à 140\$/baril)

⇒ Le charbon une énergie d'avenir

Consommation de pétrole

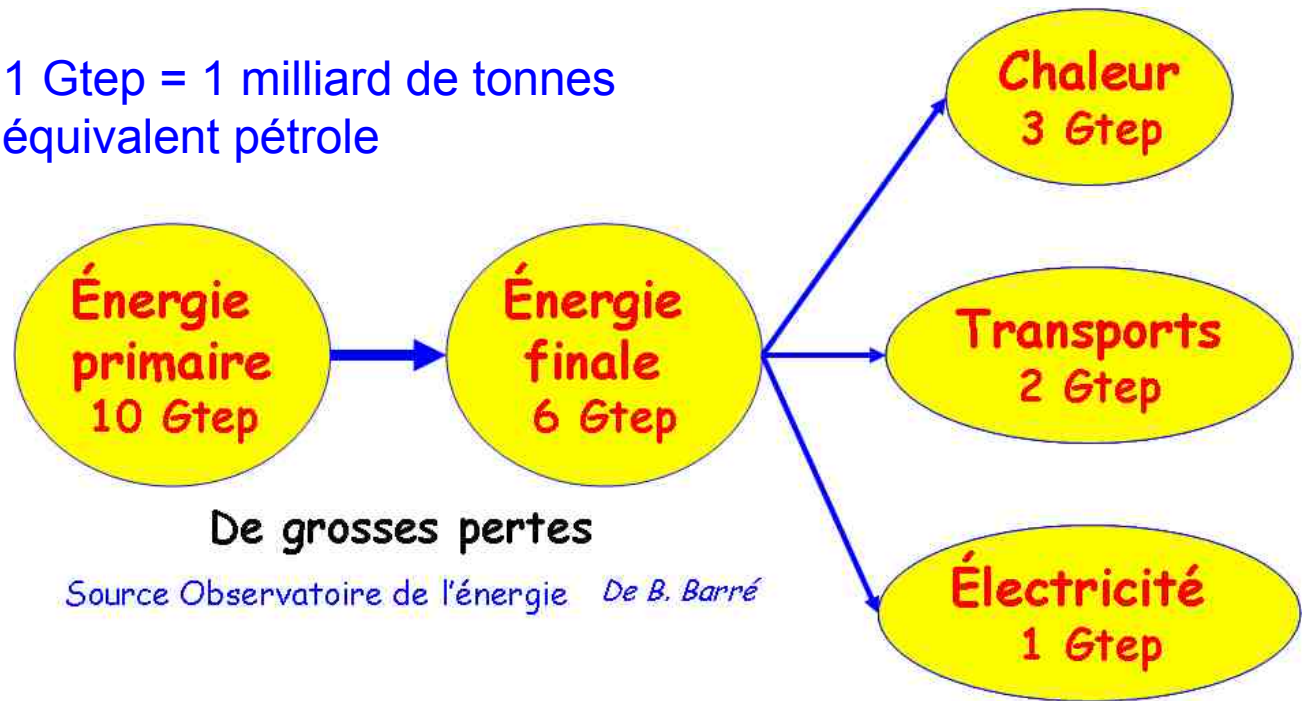
Pays	Augmentation en 20 ans
Corée du Sud	306%
Inde	240%
Chine	192%
Brésil	88%
USA	16%
Japon	12%
France	-12%

Quand la production du pétrole « bon marché » déclinera-t-elle ?



Prédiction de King Hubbert en 1956 \Rightarrow la production des USA déclinera en 1969 (réalité 1970)

1 Gtep = 1 milliard de tonnes équivalent pétrole



De grosses pertes

Source Observatoire de l'énergie De B. Barré

Ordre de grandeur des usages de l'énergie dans le monde

2 problèmes

L'effet de serre

La raréfaction progressive du pétrole bon marché puis du gaz

	Charbon	Pétrole	Gaz	Nucléaire	Eau	Soleil	Vent	Géothermie	Biomasse
Électricité	Un problème assez facile à résoudre								
Chaleur									
Transports	Le problème le plus difficile								

L'effet de serre



Sans effet de serre la température moyenne de la terre serait à **-18°C**. Elle de **+15°C**. Mais on observe depuis l'ère préindustrielle une augmentation de celui-ci due aux activités humaines (plus de la moitié vient du CO_2)

On rejette 2 fois plus de CO_2 que la nature peut en absorber

Pour une 1 kWh électrique:

Charbon \Rightarrow environ 1000g de CO_2

Pétrole \Rightarrow environ 750 g de CO_2

Gaz \Rightarrow environ 500 g de CO_2

Le méthane est 23 fois plus nocif pour l'effet de serre que le CO_2 (gaz carbonique)

Émission annuelle en CO_2 par habitant

USA \approx 19 tonnes, RFA \approx 12t, France \approx 6,6t *soit 1,8 moins qu'un allemand et 2,9 fois moins qu'un habitant des USA*

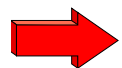


Une voiture qui fait 15 000 km/an (\approx 200g CO_2 /km)

$\Rightarrow \approx$ 3 tonnes de CO_2 . Respiration humaine \approx 500 kg CO_2 /an ?

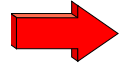
Les combustibles fossiles

- Ils émettent tous du gaz carbonique
- Séquestration ? ... mais diminution du rendement de production de chaleur ou d'électricité
- Réserves limitées



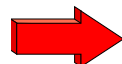
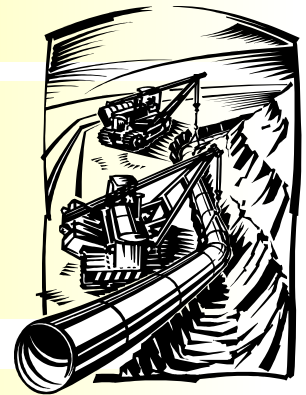
Le charbon

- Le plus polluant mais plusieurs centaines d'années de réserves.



Le pétrole

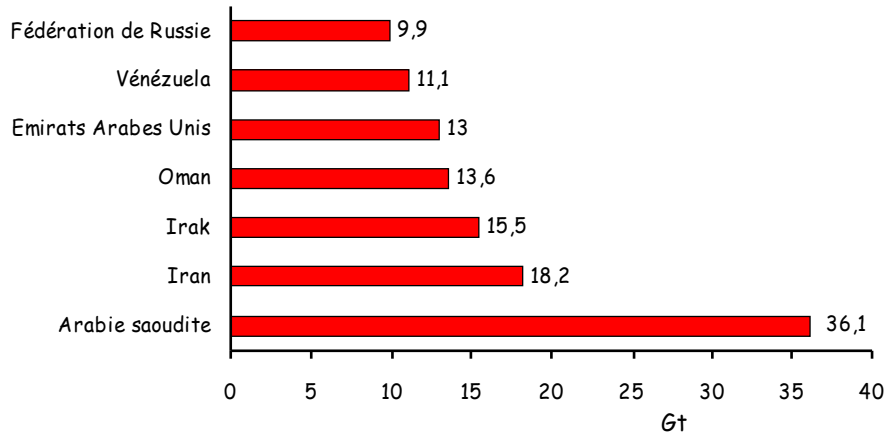
- Le plus commode. La meilleure forme d'énergie
- Actuellement irremplaçable pour les transports.



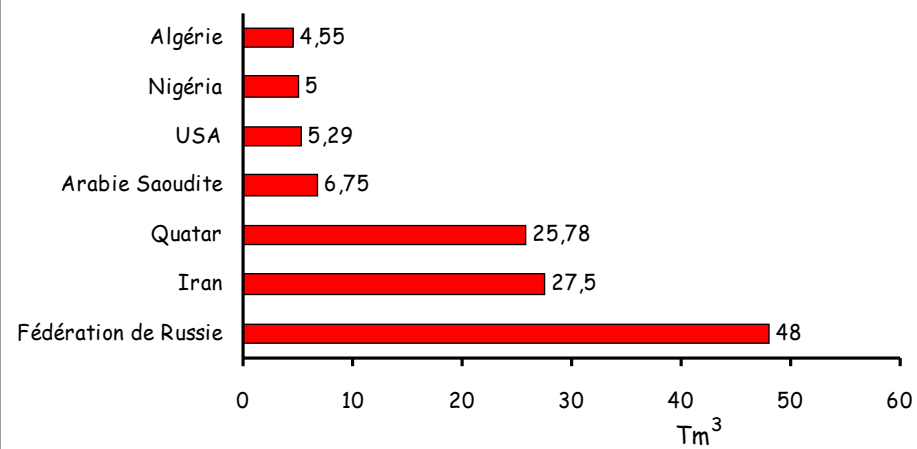
Le gaz

- Utilisation en croissance (turbines à cycle combiné ⇒ excellents rendements), le moins polluant des combustibles fossiles

Réserves prouvées de pétrole

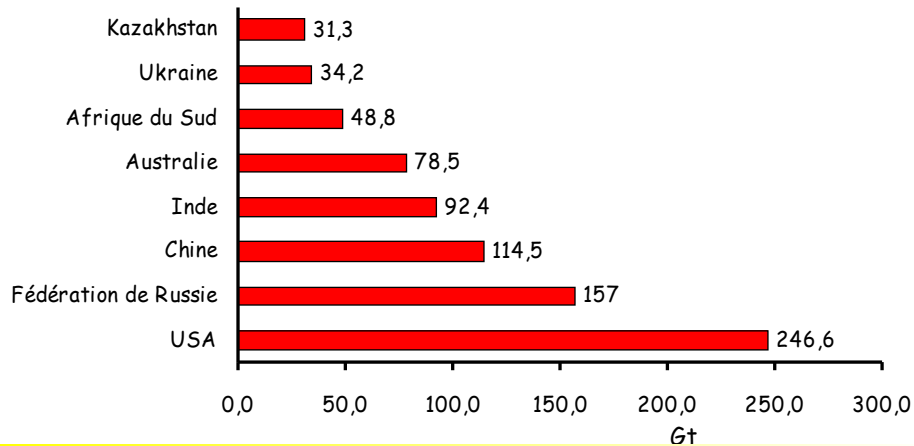


Réserves prouvées de gaz naturel (Tm³)



Source BP statistical review

Réserves prouvées de charbon (2004)



Il y aura encore du pétrole pendant longtemps (non conventionnel, CTL, GTL, BTL), mais plus cher

☐ + pétrole non conventionnel, schistes bitumineux + sables asphaltiques ⇒ plusieurs centaines de Gtep. Mais coûteux en énergie et polluant à exploiter

☐ On peut fabriquer du pétrole à partir du gaz, du charbon ou de la biomasse (GTL, CTL, BTL)

Les énergies renouvelables

Exploitées depuis que l'homme maîtrise le feu

- ❑ Une production électrique dominée par l'hydraulique
- ❑ Une production de chaleur dominée par la biomasse
- ❑ La France est le premier producteur Européen d'énergies renouvelables
- ❑ Il faut utiliser les énergies pour diminuer la consommation de combustibles fossiles mais pas pour les remplacer
- ❑ Il n'y a pas que la technologie. L'éducation et la formation jouent un rôle important
- ❑ Les énergies renouvelables demandent des investissements importants pour les particuliers

Intermittentes et diluées, souvent trop chères
Comment pallier à ces inconvénients ?

Les énergies renouvelables



La biomasse

La plante permet de stocker l'énergie solaire tout en consommant du CO_2 .

Faible rendement énergétique ($\approx 1\%$ zones tempérées)

Le bois \Rightarrow 1/3 moins énergétique que le pétrole

Biocarburants : un **amplificateur d'énergie**

Peuvent contribuer à diminuer les besoins en pétrole mais

\Rightarrow **Rouler ou manger**

Futur : biocarburants de 2^{ème} génération (Énergie + H_2 de l'extérieur)

Déchets

Déchets organiques très utilisés dans le monde (fiente de volaille, excréments de porcs...)



Les énergies renouvelables



➔ Grande hydraulique

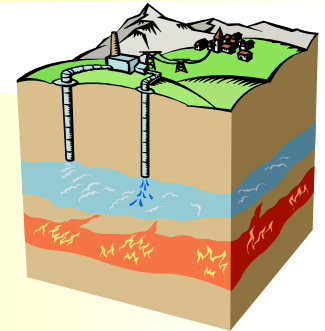
- Très rentable, presque complètement exploitée en France
- Pour la France 56% de la production électrique en 1960

➔ Petite hydraulique, marées, vagues, courants, énergie thermique des océans.

Vagues et courants ⇔ Bon potentiel en France

➔ La géothermie

- Origine : radioactivité terrestre
 - Un gros potentiel à long terme
- 99 % de la planète a une température > à 200°C





→ Le solaire thermique

Capteurs solaires (une source à développer)

Eau chaude sanitaire, planchers chauffants

Centrales solaires

On concentre l'énergie du soleil ($T > 1000^{\circ}\text{C}$) \Rightarrow électricité

→ Le solaire photovoltaïque

Très cher pour le connecté réseau

(0,45 €/kWh > 10 fois le prix du kWh conventionnel)

Encore plus cher en autonome (1,5 €/kWh) mais rentable dans les **pays en voie de développement**

Technologie actuelle : beaucoup d'énergie pour fabriquer les cellules (4-5 ans de fonctionnement pour récupérer l'énergie)

Les énergies renouvelables

→ L'éolien

- ❑ 2 à 3 fois plus cher que le kWh standard
- ❑ Allemagne 2003 \Rightarrow 14 GW installés \Rightarrow 18,6 TWh (15%)
 \Rightarrow L'éolien nécessite une centrale thermique en complément lorsqu'il n'y a pas de vent (France + de pollution, Danemark - de pollution)
- ❑ Éolien off-shore



Le nucléaire actuel Son intérêt



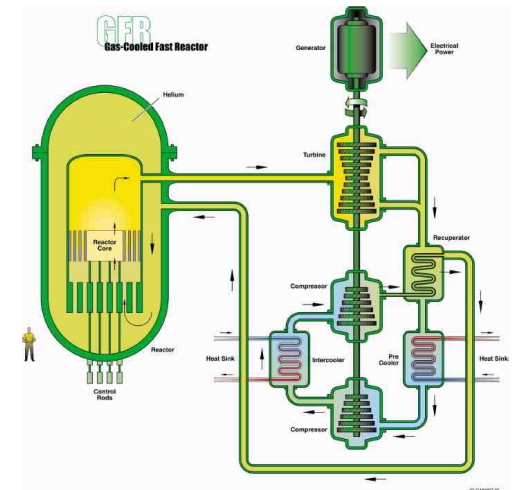
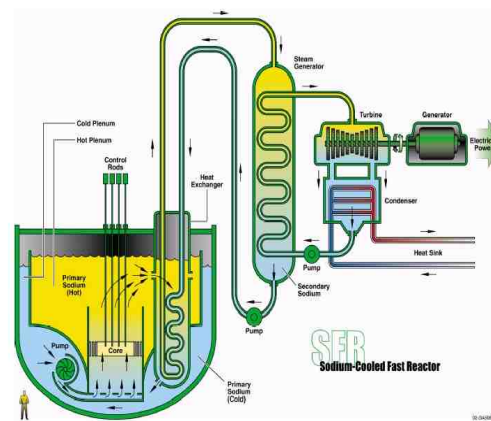
- ❑ Il donne de l'énergie peu chère dont le prix est stable dans le temps (à l'échelle de 40-60 ans)
 - ❑ Il ne contribue pas à accroître l'effet de serre
 - ❑ La valeur ajoutée se fait dans le pays qui l'utilise (emplois, devises...). Si on avait choisi le pétrole dans les années 70 \Rightarrow 800€/français/an en devises
 - ❑ Mais les réserves sont limitées (\approx 100 ans)
-
- ❑ Si le prix de l'U est multiplié par 10, le prix du kWh augmente de moins de 40%
 - ❑ Pour le gaz, \approx 70% du prix du kWh vient du prix du gaz. Un facteur 10 \Rightarrow prix du kWh \times 7

Le nucléaire du futur

⇒ **réacteurs à neutrons rapides** (1 an d'uranium pour les REP actuels = plus de 140 ans de fonctionnement avec les rapides) ⇒ **Réserves pour des dizaines de milliers d'années**

Fonctionnement à haute température ⇒ 1kWh électrique pour 1 kWh de chaleur au lieu de 1 kWh d'électricité pour 2 kWh de chaleur actuellement

Quand ? ⇒ Les rapides seront économiquement intéressants dans la plage 2050-2075



La fusion, énergie de l'avenir ?

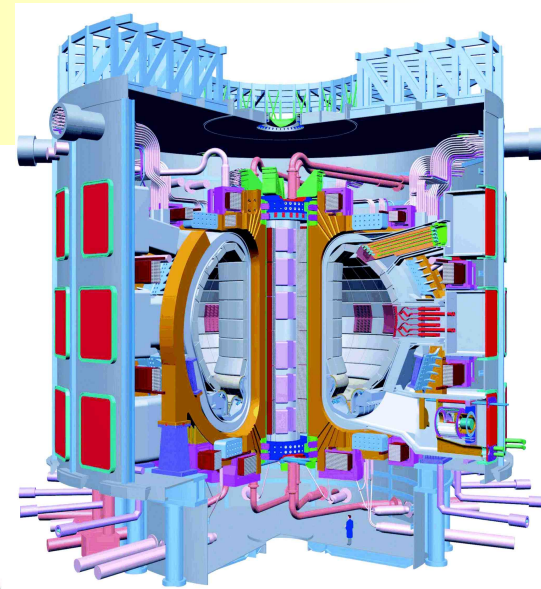
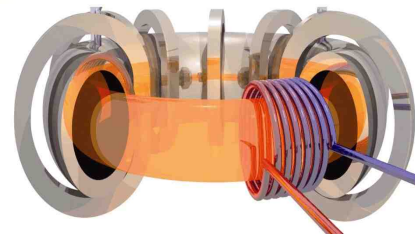
- **(d+t)** Au stade de la recherche. Réalisation industrielle \Rightarrow pas avant la fin du siècle, voire plus
- **Réserves** \Rightarrow > quelques milliers d'années (le tritium est fabriqué à partir du Lithium)
- Pour avoir une énergie inépuisable il faudra maîtriser la fusion **d-d**

Les projets (internationaux)

Jet 1kWh \Rightarrow 1 kWh

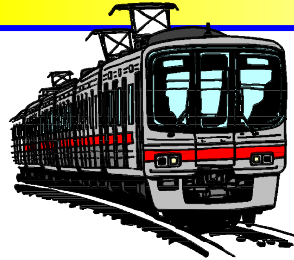
ITER 1kWh \Rightarrow 10 kWh

Pour faire de l'électricité il faut 1kWh \Rightarrow 40 kWh \Rightarrow (2 projets futurs DEMO et PROTO)



Le stockage de l'énergie le point faible de la filière énergétique

Matériau	Pour avoir 1 kWh
Essence	70g = 0,07kg
Batteries au plomb	25 kg



L'énergie la plus propre est celle que l'on ne consomme pas

>18 TWh/an <7 TWh/an

Un exemple

Veilles ⇒ Télévision (80 W) pour 3h → 240 Wh
 veille (15W) pour 21h → 315 Wh
 Mise en veille ⇒ 6 GW (niveau mondial)

Quelques perspectives pour la France

☐ Sobriété et économies d'énergie

☐ **Chaleur** ⇒ Valoriser les pertes avec la pompe à chaleur qui est un amplificateur d'énergie

Source froide

- ☐ Air (jusqu'à -15°C)
- ☐ Eau
- ☐ Sol

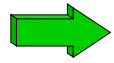
1 kWh d'électricité
⇒ 3 à 4 kWh de
chaleur

La pompe à chaleur
réversible ⇒
Chaud l'hiver, froid l'été

☐ **Transports** ⇒ véhicules hybrides,
biocarburants, pétrole technologique

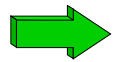


Les transports routiers : le prochain défi



Le pétrole est indispensable pour les transports

50 Mt = 1 700 Erika (30 000 t), 217 Amoco Cadiz (230 000 t)



Ordres de grandeur (France)

Transports terrestres \Rightarrow 500 TWh

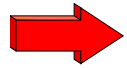
Aériens \Rightarrow 60 TWh ; Maritimes \Rightarrow 30 TWh

À comparer à la consommation d'électricité \approx 450 TWh
(1 TWh = 1 milliard de kWh)



Hydrogène et transports

Ce n'est pas pour demain. R&D sont encore nécessaires



Piles à combustible

Transport de masse : encore de nombreux problèmes

- Prix (1 million de \$ la voiture)
- Catalyseur (pour les véhicules il faut 280 fois la production annuelle de Pt), etc.



Hydrogène + piles à combustible

Comment produire le carburant, avec quelle énergie ?

Stockage \Rightarrow on transporte le réservoir et très peu de H_2

Transports actuels \Rightarrow il faudrait 60 réacteurs nucléaires (1000 MW_e) ou 120 000 éoliennes (1,5 MW)

Essence à partir du charbon \approx 40\$/baril

L'énergie va devenir plus chère

- ➔ **Faire des économies**
En utilisant la technologie et l'éducation
- ➔ **Trouver le meilleur panachage énergétique**
Il dépend de chaque pays, de la région, du logement...
- ➔ **Utiliser toutes les sources d'énergies**
Ce sera nécessaire pour satisfaire les besoins (déclin du pétrole bon marché)
- ➔ **La recherche est importante**
Diminuer les coûts de l'énergie. Augmenter les rendements. Stocker l'énergie efficacement et à faible coût