

LES ENERGIES RENOUVELABLES - 2

- Non épuisables
- Ne contribuent pas (directement) à l'effet de serre.

Note - L'**hydrogène** n'est pas une source d'énergie, mais un vecteur, comme par ex. l'électricité.

Et il est très cher à produire, à stocker et à transporter.

Solaire indirecte :

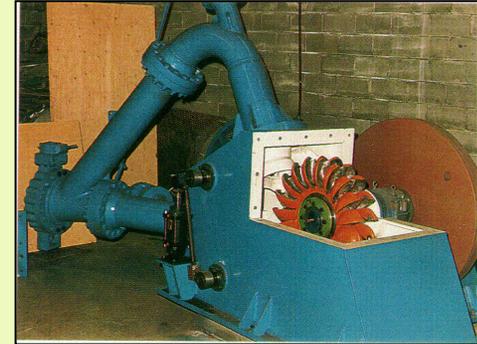
En. **hydroélectrique**

En. **éolienne**

En. de la **biomasse**

[Article Énergies - Environnement](#)

L'énergie hydroélectrique

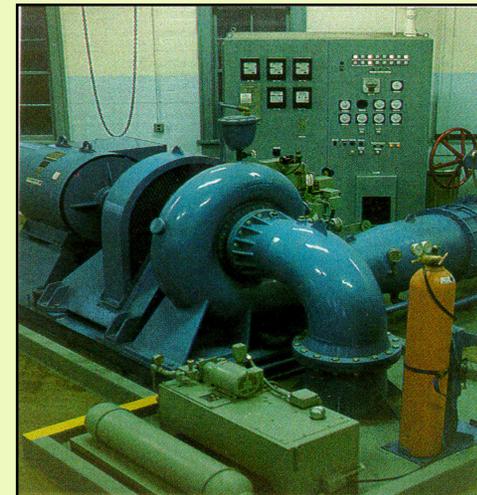


Consomm. énergie dans le Monde 15.000 GW*an,
dont électricité 1.500 GW (~10 % du tot.) - hydroélectrique 310 GW.

France énergie totale 350 GW, dont électricité 63 GW (17% du tot.) -
hydroélectrique 23 GW (15% de l'électricité, 78% étant fourni par le
nucléaire).

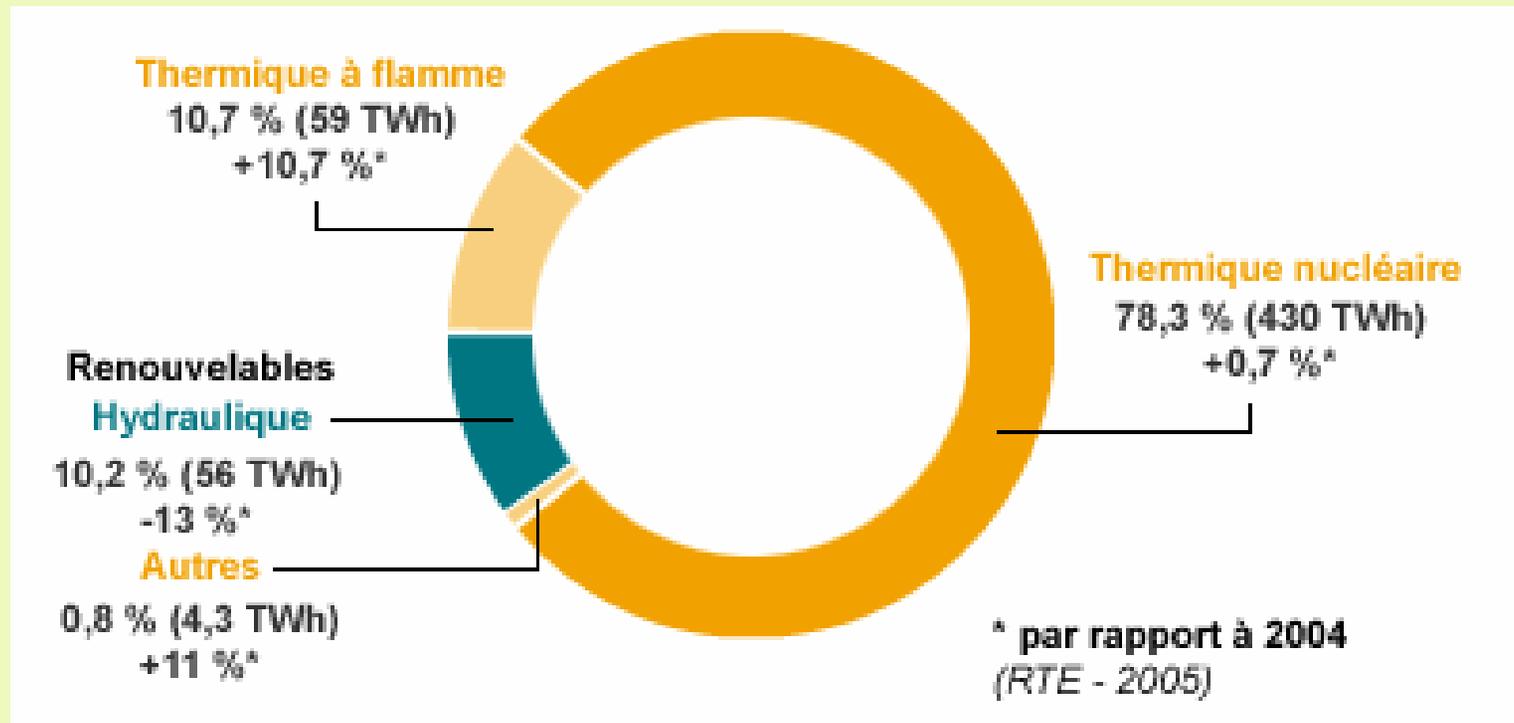
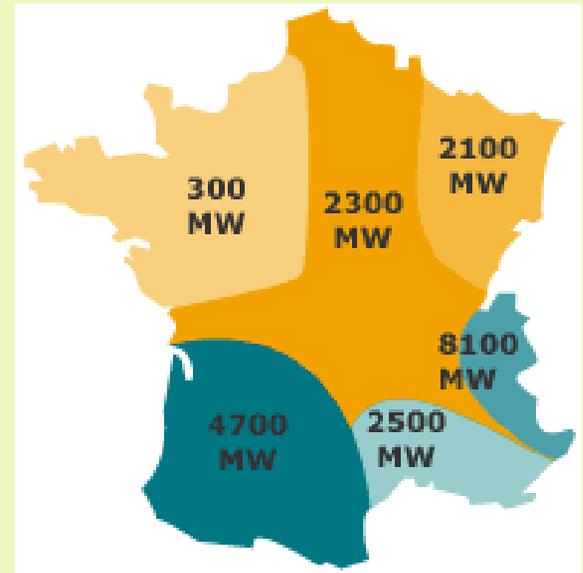
Avantages :

- Forte puissance
- stockage efficace (fluctuations ~ 20 %)
- production à la demande



L'Hydroélectricité en France

En France, **150 grands barrages** (sur un total de **447**) peuvent fournir une puissance totale de **23.000 MW**, soit **15%** de la production totale d'électricité, le reste étant fourni essentiellement par les centrales nucléaires et thermiques.



Énergie hydraulique

C'est la source d'énergie mécanique la plus ancienne (moulins).

Elle produit annuellement 2 à 3% de l'énergie mondiale.

Les pays émergents (Chine, Inde, Brésil, Turquie, Iran...) donnent la priorité à leur développement en construisant des barrages.

Coût 1200-6000 € par kW installé.

C'est certes un investissement lourd, mais de très longue durée de vie et de coût d'exploitation faible, assurant une énergie compétitive, stockable et capable de faire face aussi bien à la demande de base que de pointe selon les sites.

Les difficultés de développement tiennent essentiellement:

- Aux déplacements de population nécessaires pour implanter les réservoirs (Trois Gorges en Chine, Baie James au Canada)
- A une compétition avec le gaz naturel dans les régions qui en ont (Afrique occidentale, Turquie, gaz de Bolivie pour le Brésil et l'Argentine)
- A l'opposition des associations écologistes.

L'énergie hydraulique est à recommander partout où restent des sites équipables dans les pays en voie de développement.

Dans les pays développés, il n'en reste pratiquement pas.

Le transport sous forme de courant continu, c'est fait au Canada vers le nord-est des Etats-Unis, et au Brésil depuis Itaïpu vers Rio et Sao Paulo.

Et le petit hydraulique ? Il reste quelques sites de petite puissance à basse chute. La puissance ainsi ajoutée pourrait atteindre 10% de celle du grand hydraulique, mais ces mini-centrales rencontrent généralement les mêmes oppositions écologiques.

Seul 14 % du potentiel hydroélectrique est exploité dans le monde, mais plus que 50% dans les pays développés.

En Chine

Barrage des Trois Gorges (province de Hubei, Chine)

Longueur: 2'309 m.

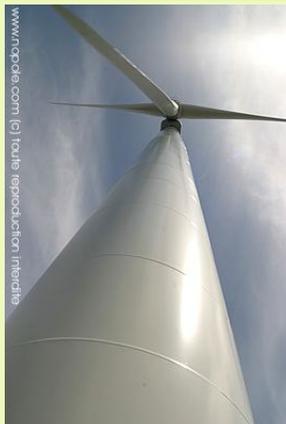
Hauteur: 185 m.

Période de construction: 1993-2009. Puissance \cong 18.2 GWmax.

Coût de construction et de déplacement de la population: 20 milliards €.



Au programme, 4 autres grands barrages, pour 38 GWmax, d'ici 2020.



Le vent – Éoliennes géantes



Puissance de l'aérogénérateur	2MWe peak, moyenne (annuelle) 200 kWe
Dimensions	hauteur du mât : 80 m rotor $\varnothing = 80\text{m}$,
Coût	2 M€ (offshore : + 50%) + ?
Empiètement au sol	8 ha (290 x 290 m ²)
Alimenter en électricité Marseille : 800 MW (1 kW/habitant)	4000 éoliennes sur 32.000 ha (1 ½ fois la surface de la ville) Coût 8 G€ + centrales d'appoint. [ou alors 1 centrale nucléaire à 2 G€]

Memento

- Tours de Notre Dame de Paris $h = 69$ m
- Poids de la nacelle : 60 t
- Engrenages : 10 -15 tr/min => 1500 tr/min
- huile lubrifiante : 1000 l d'huile hydraulique !
- Pour chaque MW d'éolien installé il faut prévoir 1MWe (3 MWth) de centrale thermique – gardée en fonctionnement minimum pour être prête à prendre la relève. Le rendement et le coût de centrales thermiques ainsi utilisées sont déplorables.
- Vitesse du vent : 15 à 90 km/h ; puissance générée de 28 kW à 18 km/h à 750 kW à 55 km/h (quel tâche pour EDF !)
- EDF gère 4 parcs aux USA pour 770 MW – et 615 MW en construction.
- L'électricité produite est rachetée à 0.58€ /kWh en Allemagne, à 0.15 € / kWh en France.
- Temps de récupération de l'énergie dépensée pour la construction : 15 ans

FR - Très chères éoliennes !

Décret du 8 juin 2001 : construction de 5000 éoliennes de 1 MW
Surface occupée : 650 km²
Surcoût en 15 ans : 11.1 milliards €
Économies : - 2.4% du 'combustible' nucléaire

Nouvelle directive européenne : 20% d'électricité produite par des sources renouvelables.

En France ? construction de 17.140 éoliennes*
Surface occupée : 5410 km² (~ un département)
Surcoût en 15 ans : 93.2 milliards € (40 % du budget total de la recherche)

* En réalité 75.000...

2. L'Énergie éolienne

L'énergie éolienne a fait l'objet d'un développement mondial récent et rapide, surtout en Europe (Danemark, Allemagne, Espagne, Norvège, UK), mais ne contribue encore que pour moins de 1% à la production d'énergie électrique mondiale.

Le Danemark domine le secteur avec 1,6 millions € en 2001, représentant 57% du montant des budgets sollicités par le secteur énergétique

(mais... production < 10 % de l'électricité – le reste étant produit avec du... charbon).

Vient ensuite l'Allemagne avec ses 3 plates formes de recherche sur les Eoliennes Off-shore (capacité totale d'environ 3.000 MW) devant être construites d'ici à 2010, suivie de près par l'Espagne dont l'objectif est de dépasser en 2010 les 8 GW installés.

La Norvège se fixe, elle, comme objectif à l'horizon 2010 la construction de centrales éoliennes d'une capacité totale de production de 3 TWh/an (~ 1.5 GW installés).

Quant au Royaume-Uni, deux programmes sont destinés à soutenir des travaux de recherche, principalement pour le développement des fermes éoliennes en mer (15 millions € pour le 2ème programme).



© Planète éolienne

www.nopole.com (c) toute reproduction interdite

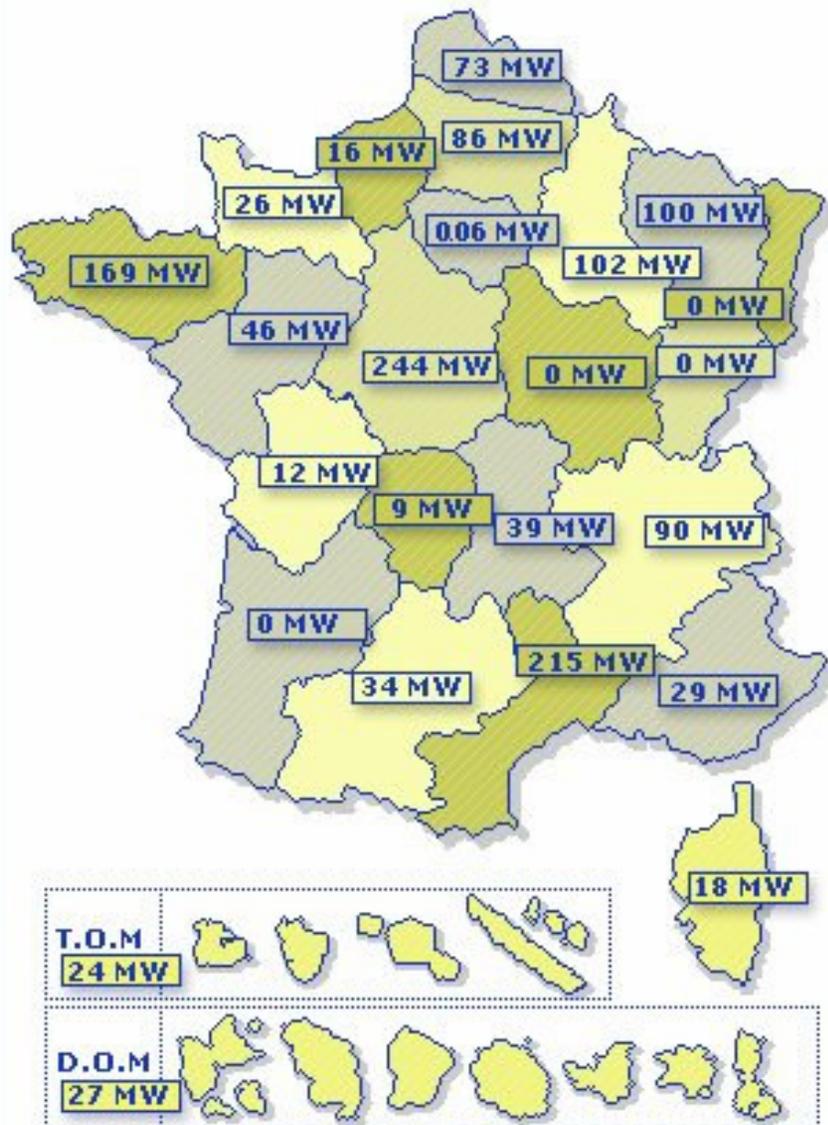




www.nopole.com (c) toute reproduction interdite.



Puissance totale [Pmax !!!] installée en service : **1,3 GW**



ALSACE	0 MW
AQUITAINE	0 MW
AUVERGNE	39 MW
BASSE-NORMANDIE	26 MW
BOURGOGNE	0 MW
BRETAGNE	168 MW
CENTRE	244 MW
CHAMPAGNE ARDENNE	102 MW
CORSE	18 MW
FRANCHE COMTÉ	12 MW
HAUTE-NORMANDIE	16 MW
ILE DE FRANCE	0.06 MW
LANGUEDOC-ROUSSILLON	215 MW
LIMOUSIN	9 MW
LORRAINE	100 MW
MIDI-PYRÉNÉES	33 MW
NORD-PAS DE CALAIS	72 MW
PAYS DE LA LOIRE	46 MW
PICARDIE	86 MW
POITOU-CHARENTES	12 MW
PACA	29 MW
RHÔNE-ALPES	90 MW
DOM	27 MW
TOM	24 MW



Près de Dunkerque : la défense de l'environnement vue par les promoteurs - 2 (nov.2005)



Près de Dunkerque : la défense de l'environnement vue par les promoteurs - 3 (nov.2005)



DURCHFART IN NIEDERKIRCHEN

Saarbrücker Zeitung
St. Wendeler Zeitung
26. Nov. 2004

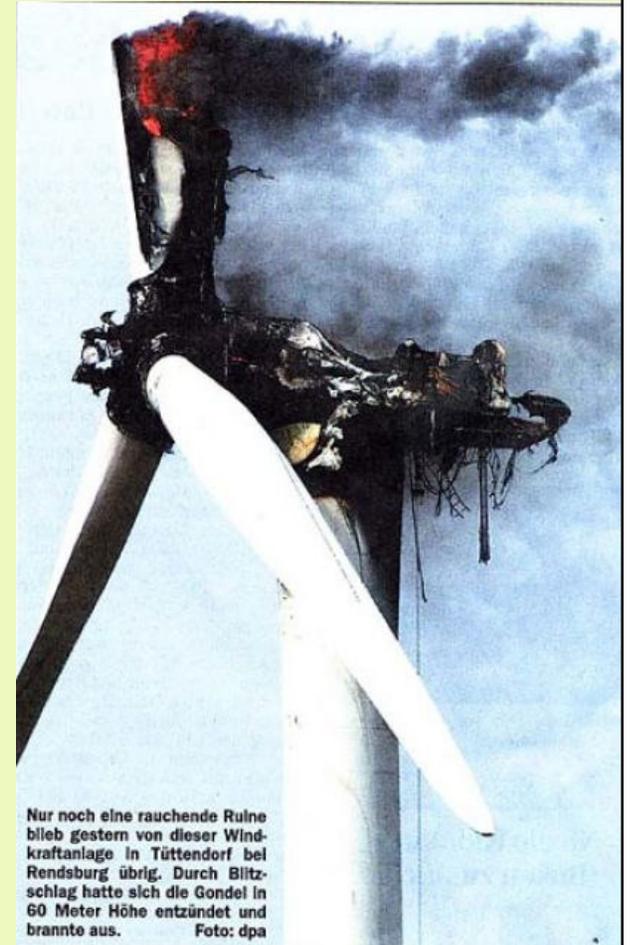


Niederkirchen ist einfach zu eng: Links passt zwischen dem 45-Meter-Mast und der Hauswand kein Stück Papier mehr. Rechts hat der Mast bereits Teile aus dem Mauerwerk herausgebrochen. Geplant ist, weitere Teile der Hauswand zu entfernen, damit der Lkw weiter fahren kann. Foto: afa

45-Meter-Mast rammt Haus

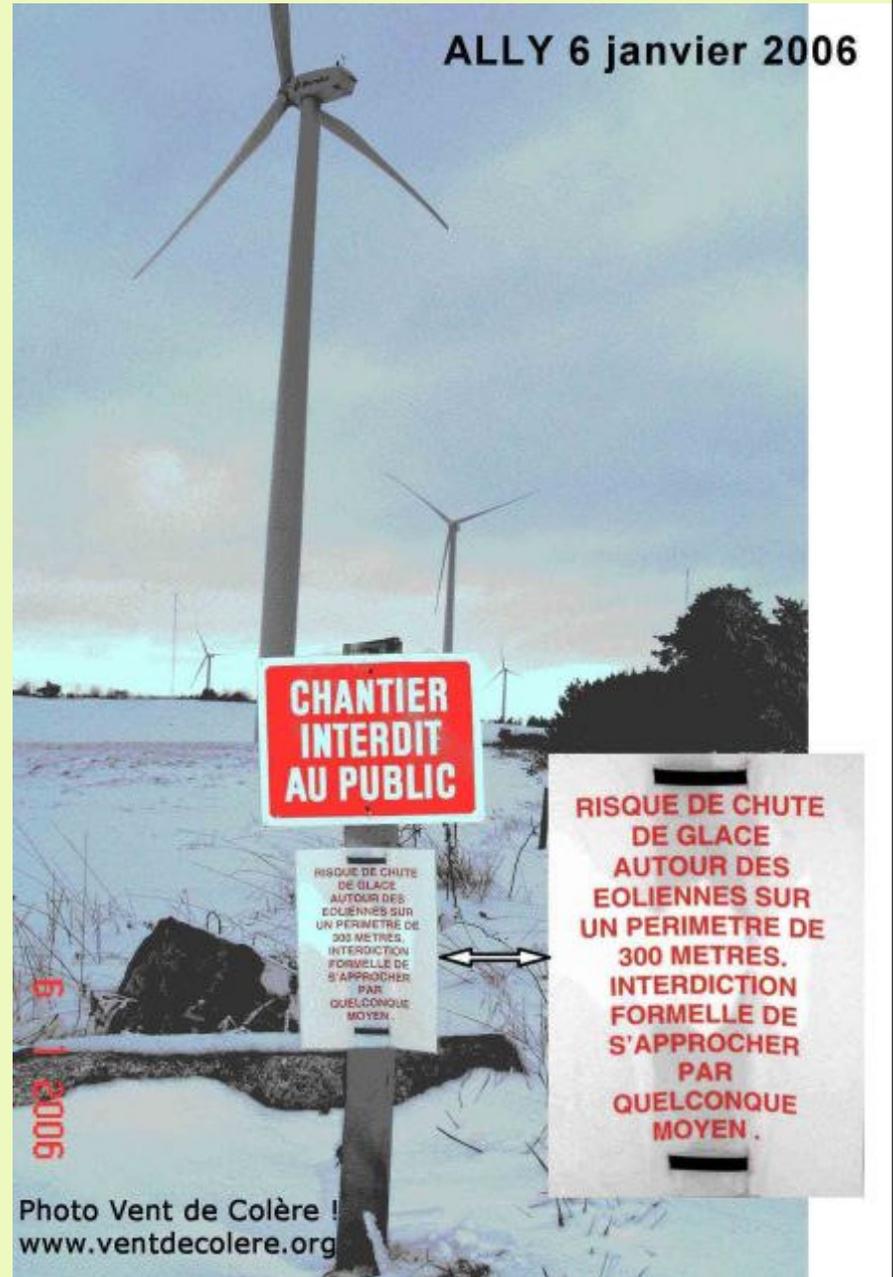
Das zerstörte Mauerwerk. Vor dem Straßenschild erkennt man die rausgebrochenen Steine.

Der Vorderteil des dänischen Lkw, der sich gestern in Niederkirchen verkeilte.



Nur noch eine rauchende Ruine blieb gestern von dieser Windkraftanlage in Tüttendorf bei Rendsburg übrig. Durch Blitzschlag hatte sich die Gondel in 60 Meter Höhe entzündet und brannte aus. Foto: dpa





Taux d'émissions de quelques pays européens

France :	42	gr CO2/kWh ;
Allemagne :	518	gr CO2/kWh ;
Danemark :	666	gr CO2/kWh ;
Italie :	509	gr CO2/kWh ;
Royaume-Uni :	454	gr CO2/kWh ;
Pays-Bas :	440	gr CO2/kWh.

Quel sens cela a-t-il, du point de vue des émissions de CO2, de remplacer des énergies non émettrices de CO2 et bon marché comme le nucléaire et l'hydraulique par des énergies non émettrices de CO2 mais coûteuses, et intermittentes comme l'éolien et le photovoltaïque ?

On comprend que l'Allemagne, le Danemark tentent de remplacer la production de leurs centrales à combustibles fossiles par autre chose mais la France, au nom de quoi s'intéresse-t-elle à l'éolien, au photovoltaïque raccordés au réseau ?

[Elisabeth Huffer]

La biomasse

Le **bois** fournit déjà ~ 10 % de l'énergie mondiale.

Le rendement, très faible (< 0.5 %), empêche une utilisation importante dans les pays riches.

En revanche, on peut envisager des cultures pour la production de carburants.

Betterave, canne à sucre => **sucre**
=> éthanol** (**alcool**)

Colza, maïs => **huile** (diesel)

** 70 % de pouvoir calorifique par rapport à l'essence.

- 13 % de la production de céréales assurent 3 % des carburants aux **USA** (16.2 GJ).

- 35 % du diesel est d'origine végétale au **Brésil** (16.5 GJ).

Colza : 1500 litres/ha

Canne à sucre 6000 l/ha

Betterave : 6000 l /ha

Peuplier : xxxxx l /ha

Mischantus : 6000 l /ha

Rendement en énergie de ces plantes :
2 % (avant manipulation génétique).

A comparer au 8-10 % du photovoltaïque.

Biocarburants

Les biocarburants, comme le méthyl tertiobutyl éther (MTBE) et l'éthyl tertiobutyl éther (ETBE), à base respectivement de méthanol et d'éthanol, ainsi que l'ester méthylique d'huile de colza ou de tournesol (EMC), sont des carburants à étudier, dans le sens où ils peuvent contribuer à résoudre les problèmes du monde agricole.

Pour le moment, ces carburants « verts » sont deux à trois fois plus coûteux à produire qu'un carburant traditionnel. Leur développement sera plus ou moins lent en fonction de la politique énergétique.

La biomasse

Pour la consommation des voitures en Europe :

7 % des surfaces cultivées
(soit 7 % de 300 Mha)

Émissions de CO₂ : ~10% des carburants actuels (mais... voir ci-dessous rendement).

Les USA veulent élever à 30% de leur besoin en carburants la part agricole, d'ici 2030.

	tep / ha	Energie nécessaire pour produire le biocarburant tep/ha	Energie nette tep/ha
Huile colza	1.37	0.5	0.87
Éthanol betterave	3.98	3.22	0.76

Le bois

Bois sec :

12-18 %	eau
50-55 %	C
40-45 %	O
6-7 %	H

Production **10 t /ha** (max. 20)
soit 3.6 – 7.2 tep/ha.

Pour 1 GWe => 2500 km² de forêt

Production mondiale

(naturelle) : 70 Gtep/an
dont brûlé : 1 Gtep/an

FR - Surface totale de la forêt : 16 000 000 d'hectares (29% du territoire français).

Surface de la forêt privée: 11,5 millions d'hectares (74 % de la surface de la forêt)

Son rang en Europe : 3e en surface et 1re en volume

Volume annuel de production de bois ronds : 30 000 000 m³

(cela ne fait que 2 m³ bois/ha)

Le secteur « forêt-bois » en France représente plus, en termes d'emplois, que le secteur de l'automobile dans son ensemble : 550 000 emplois pour 100 000 entreprises essentiellement réparties en milieu rural.

Géothermie

L'énergie géothermique :

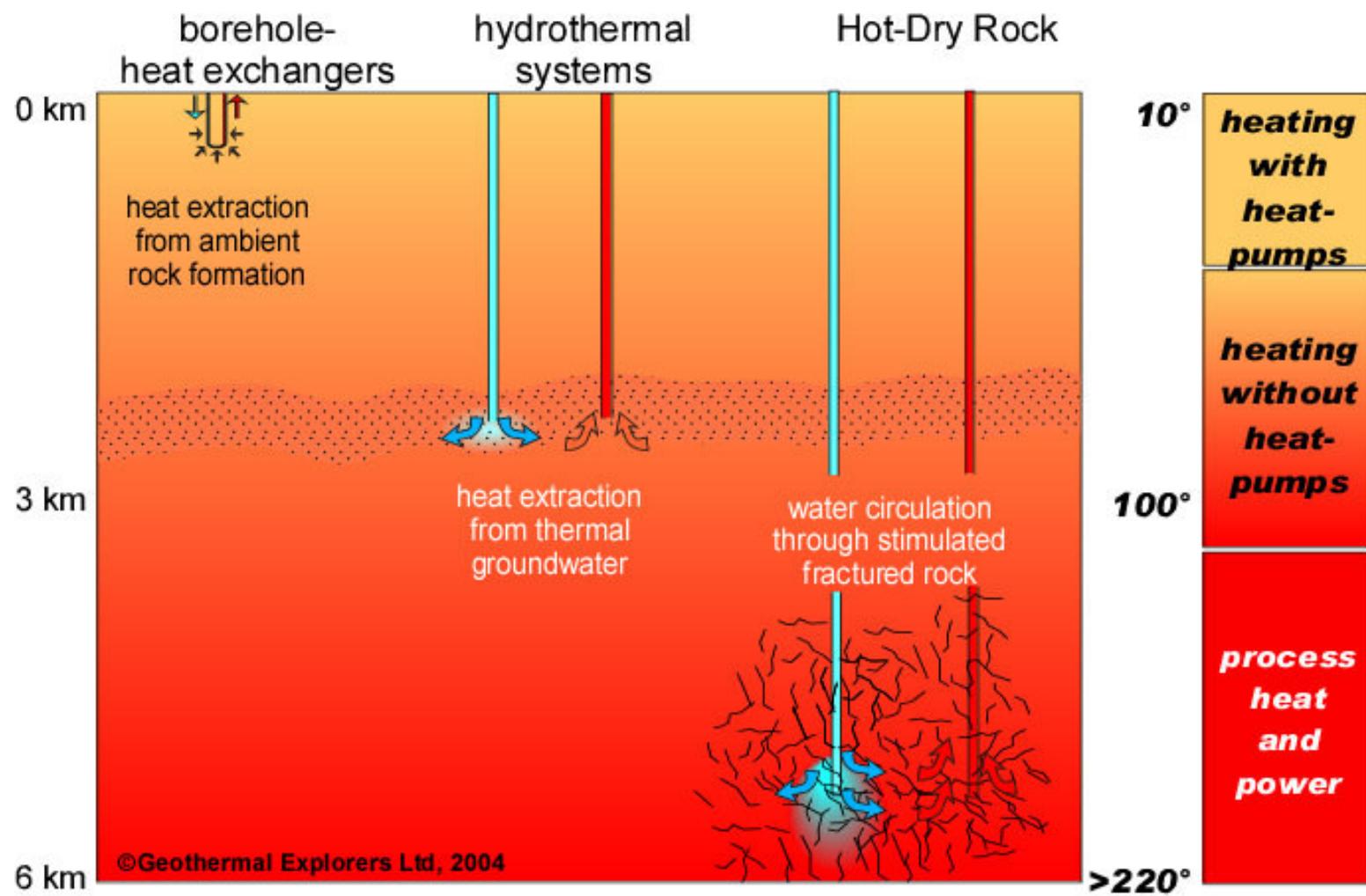
- Ne dépend pas des conditions atmosphérique ni de saisons.
- Ne requiert pas de stockage.
- Ne produit ni de CO₂ ni de déchets.
- Ne présente pas de risques d'accidents.
- Ne demande pas de grandes surfaces au sol.

Puissance installée (monde)
9.1 GW (électricité pour 50 M personnes)

En Europe 0.87 GWe

En forant jusqu'à **-5000 m** on atteint une température de plusieurs centaines de °C.

Un « forage » est exploitable pendant plusieurs années, mais à la fin il a besoin de temps pour se régénérer.



Énergie Géothermique Stimulée, EGS

Géothermie

- Plus l'on fore profond dans la croûte terrestre, plus la température augmente. En moyenne, l'augmentation de température atteint 20 à 30 degrés par kilomètre. Ce gradient thermique dépend beaucoup de la région du globe considérée.

On distingue trois type de géothermie :

- **géothermie à haute énergie** (production d'électricité), température 80 – 300 °C, profondeur de forage jusqu'à -5000 m. Production d'électricité et chauffage urbain collectif.
- **géothermie à basse énergie** (production de chaleur), température de l'eau entre 30 °C et 100 °C dans des gisements situés entre 1500 et 2500 m de profondeur - chauffage urbain collectif.
- **géothermie à très basse énergie** (pompe à chaleur prélevant la chaleur contenue dans le sol), températures comprises entre 10 et 30 °C - chauffage et climatisation individuels avec pompe à chaleur.

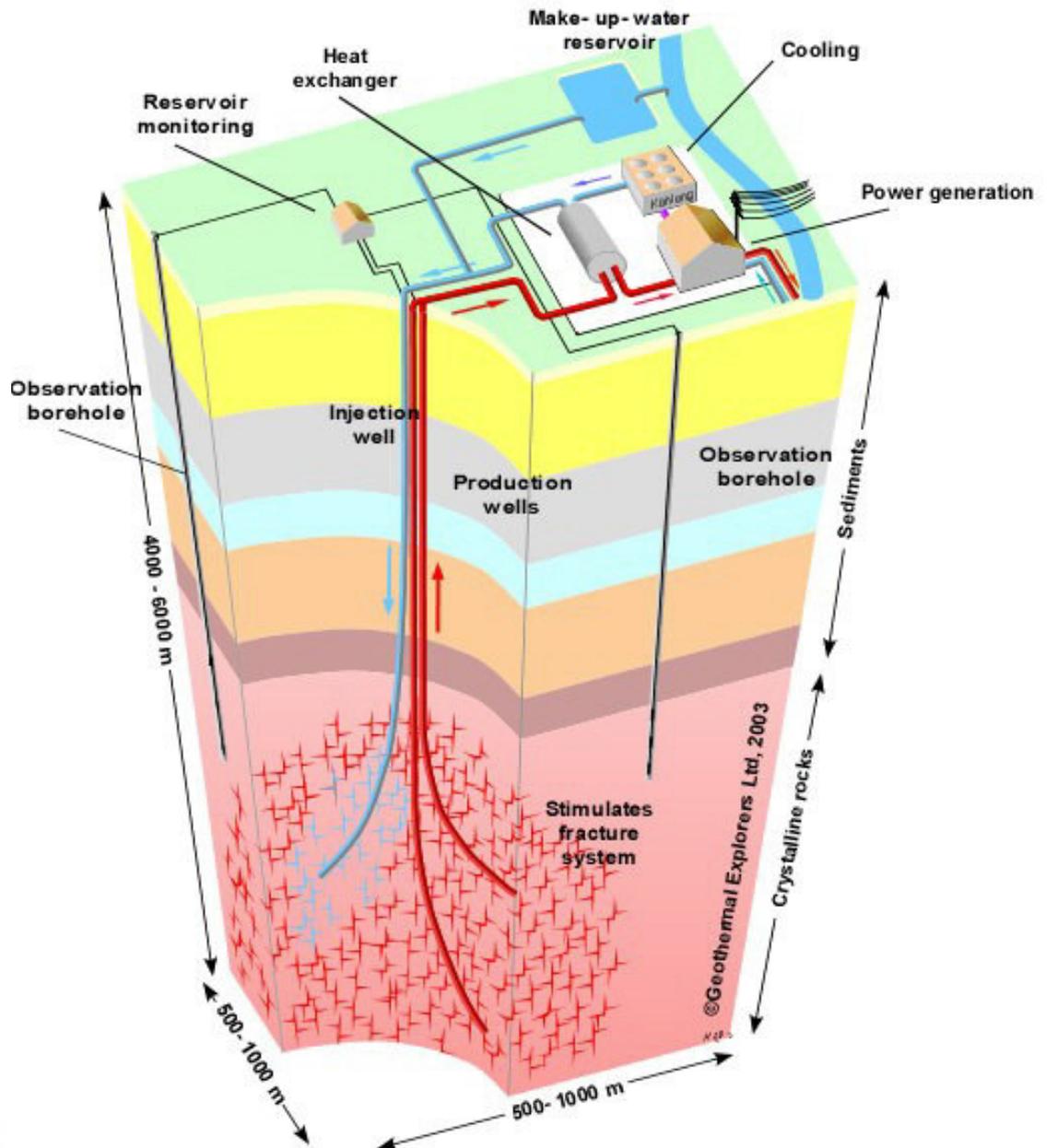
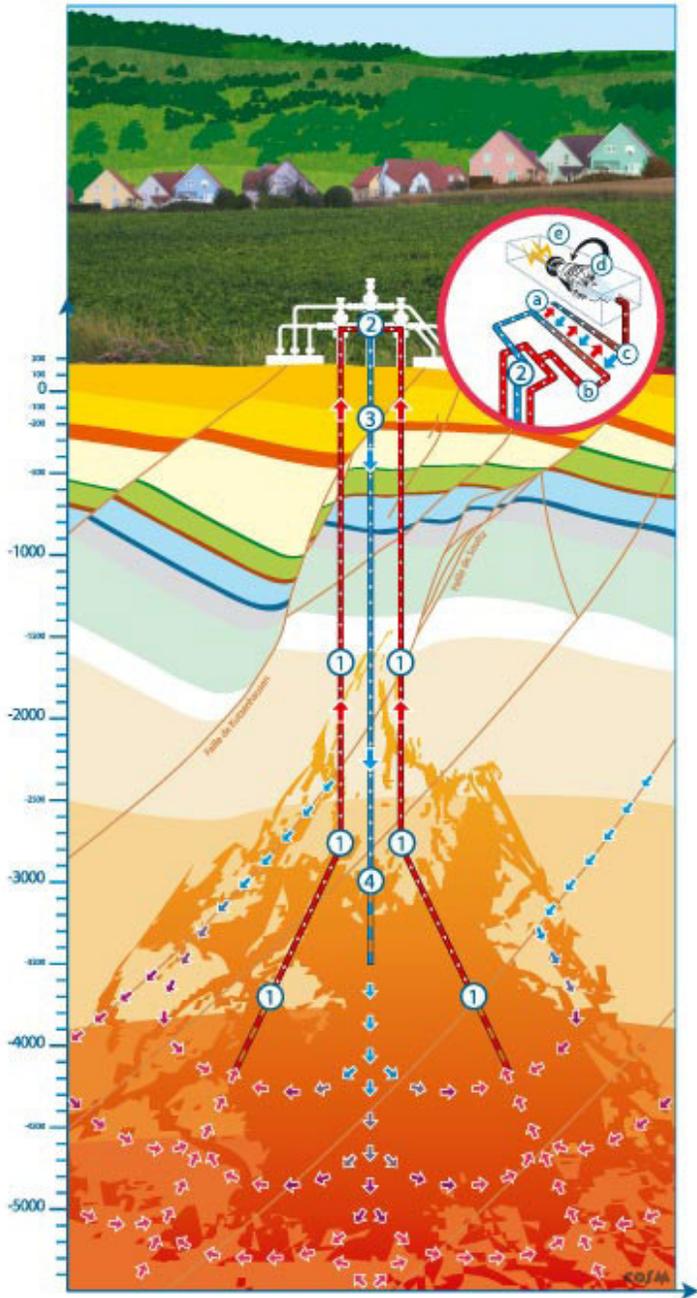
La géothermie est la source d'énergie principale de **l'Islande**.

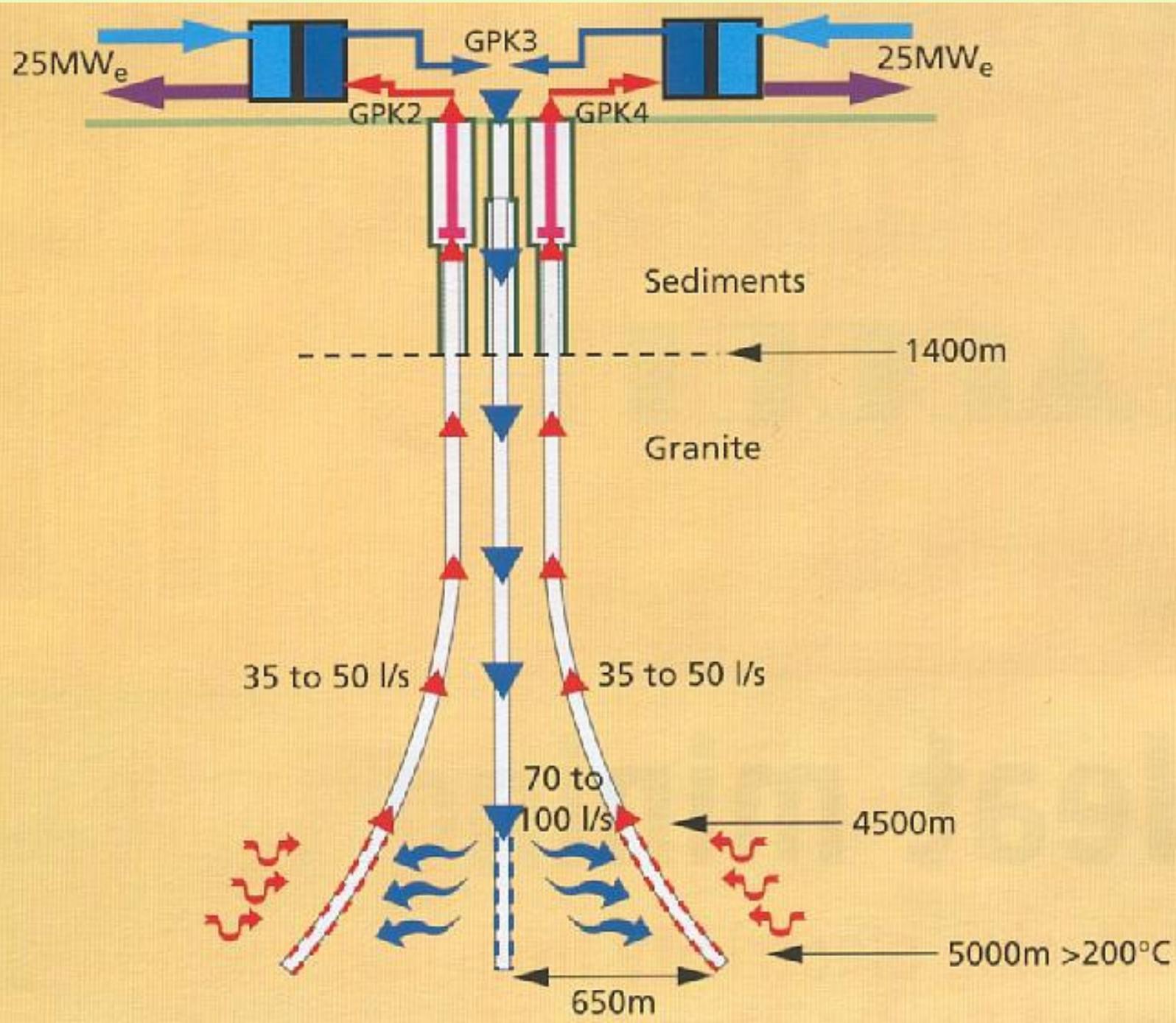
“*The Geysers*”, à environ 145 km au nord de **San Francisco** (zone du Rift), démarra la production en 1960 et dispose d'une puissance de 2000 mégawatts électriques. Au sud de la Californie une quinzaine de centrales produisent environ 570 mégawatts électriques.

Les installations géothermiques ont parfois besoins d'élargir les fissures où circule l'eau. Pour cela, elles injectent de l'eau sous pression, ce qui dans certains cas peut déclencher des séismes de magnitudes pouvant aller jusqu'à 4,6 sur l'échelle de Richter.

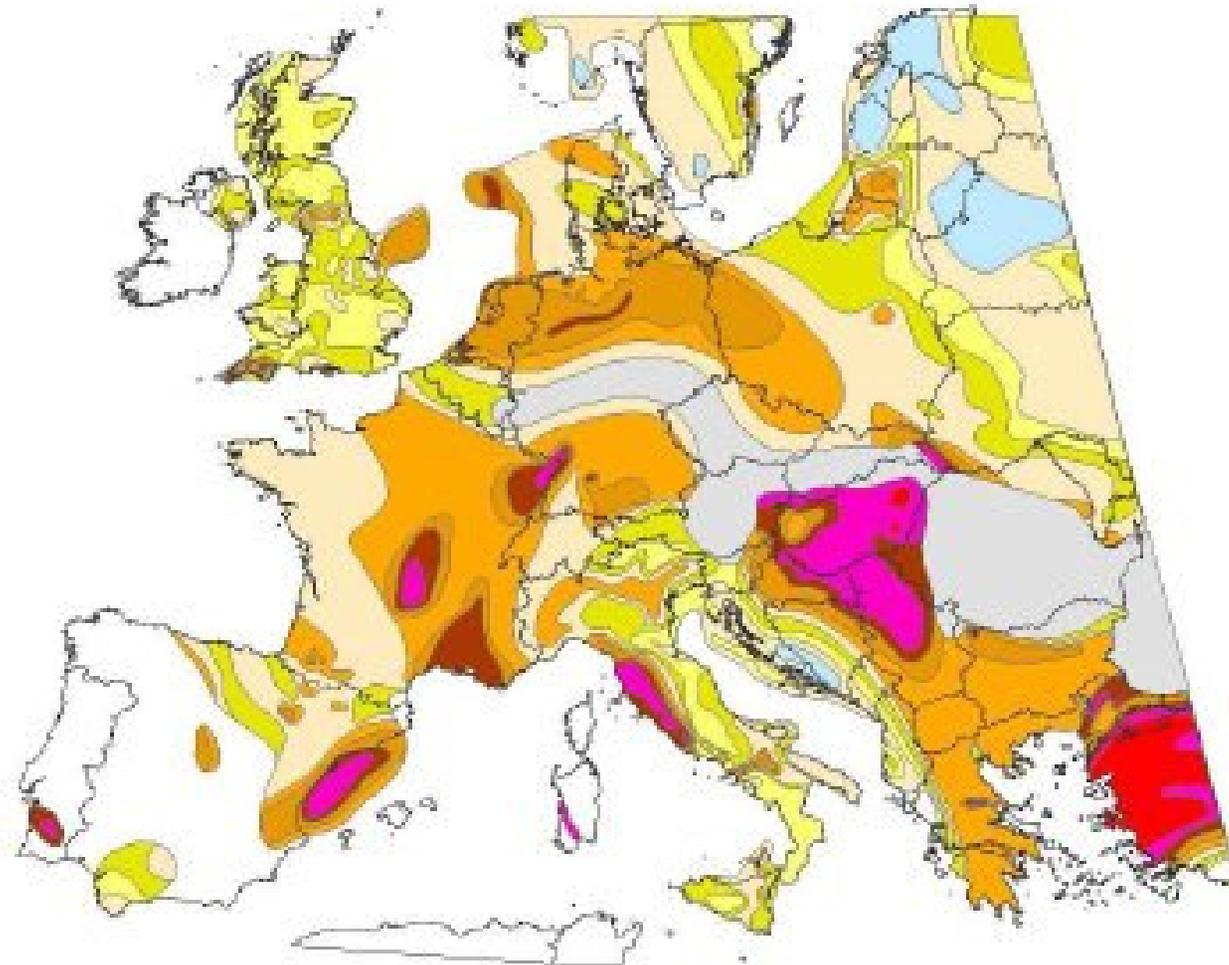
Un projet européen de géothermie profonde à **Soultz-sous-Forêts** est prévu pour 2006 et un à **Bâle** en 2009.

Bâle : 3 MW électriques et 20 MW thermiques, pour 5000 utilisateurs. Stoppé en 2007 (avec 80 MCHF dépensés) suite à des violents tremblements de terre.





Temperature



5 L'ÉNERGIE GEOTHERMIQUE

L'énergie géothermique est une énergie nucléaire, provenant de la désintégration des éléments radioactifs à longue période de la croûte terrestre. Dans les parties stables du globe, la chaleur migre vers la surface par conduction ($\sim 0,06 \text{ W/m}^2$, gradient $\sim 40^\circ\text{C/km}$), ce qui permet seulement une exploitation thermique (bassin parisien). Dans les zones actives, des fluides transfèrent l'énergie par convection ($\sim 1 \text{ W/m}^2$, gradient $\sim 300^\circ\text{C/km}$) permettant une exploitation électrique et thermique. Les zones volcaniques sont donc largement privilégiées (Philippines, Italie, Mexique, Indonésie, Japon, Nouvelle Zélande, Islande). A noter la volonté de l'Islande de développer un système énergétique totalement vert, essentiellement basé sur la géothermie et la production d'hydrogène par électrolyse haute température pour remplacer le pétrole dans les transports.

On exploite actuellement :

- des sites profonds dépassant 200°C qui permettent une production d'électricité ($\sim 50 \text{ TWh} = 0,4 \%$ de la production mondiale). Coût 3 à 7 c€/kWh. Cette production électrique géothermique mondiale représente aujourd'hui environ le double de l'énergie éolienne (26 TWh)

- des sites moins chauds ($\# 80^\circ\text{C}$) dans des terrains sédimentaires, pour le chauffage (40 TWh)

- Une autre forme d'énergie géothermique à très basse température utilise une pompe à chaleur pour relever le niveau enthalpique de la faible chaleur extraite du proche sous-sol. Ce système se développe en Suède, Allemagne, Autriche, et pourrait contribuer pour 0,4 à 0,5 TWh vers 2010.

Le potentiel résiduel non exploité est important.

- L'exploitation des roches chaudes sèches profondes ouvrirait des perspectives plus étendues car de tels sites (d'environ 25 MW chacun) sont plus nombreux et présents en Europe.

Aboutissement des développements vers 2020/2030 (prototype de Soultz en forêt). Coût probable 5 à 9 c€/kWh ? Un avantage de l'énergie géothermique par rapport aux énergies éolienne et solaire est d'être disponible à tout moment. Mais là encore les puissances envisagées en font une énergie qui semble devoir rester marginale au plan mondial, bien que précieuse pour les pays volcaniques .

ET L'ÉNERGIE DES MERS ?

La centrale marémotrice de la Rance (240 MW) , mais n'aura pas de successeur car les sites sont rares et les oppositions fortes. Dans le reste du monde, les sites à forte marée sont également rares et les oppositions analogues.

Il faut mentionner, également, les tentatives d'utiliser l'énergie de la houle, notamment en Grande Bretagne.

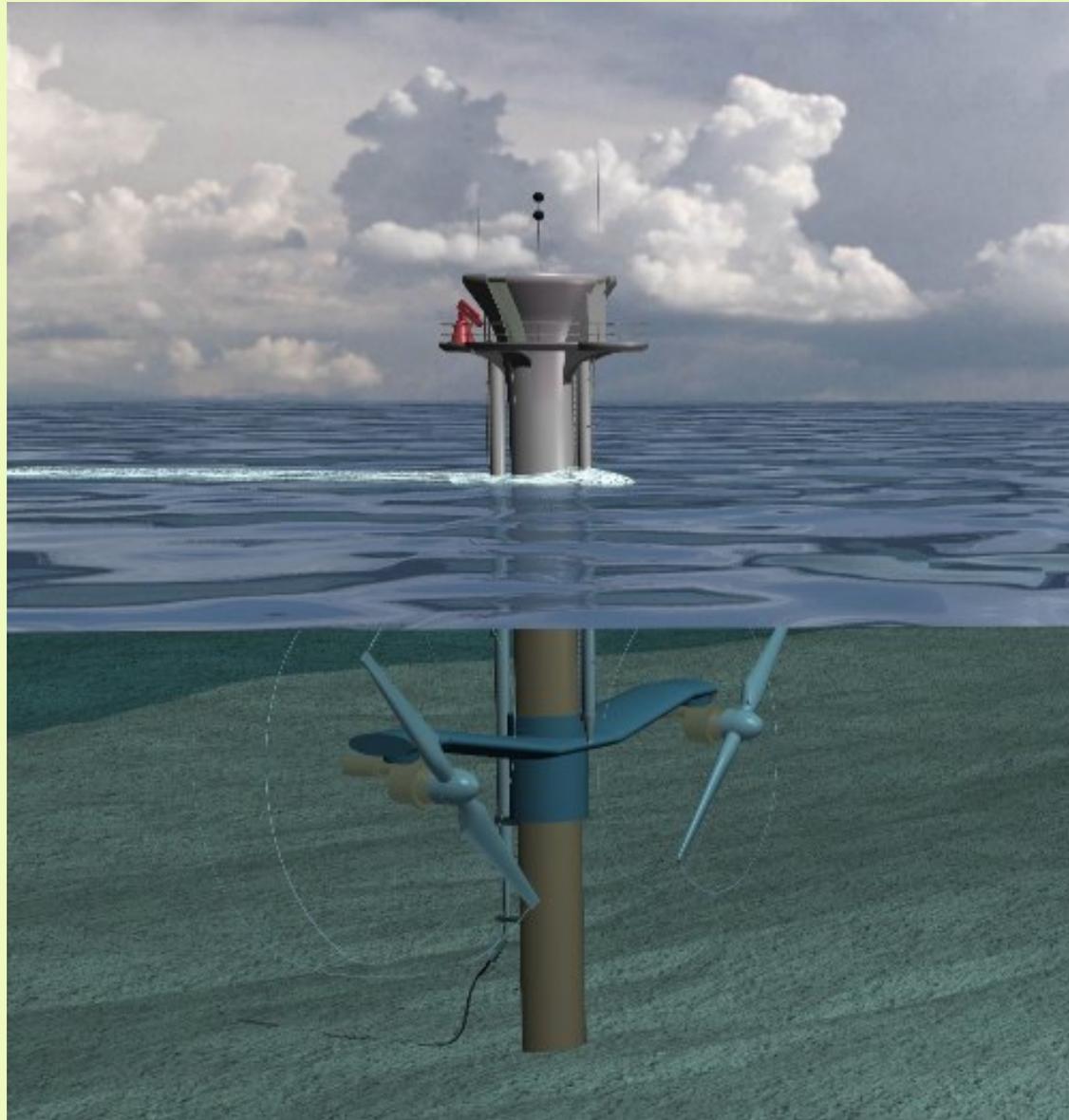


▲ La centrale oceanica progettata dalla Marine Current Turbines è composta da una batteria di turbine disposte a una distanza più ravvicinata rispetto a un analogo impianto eolico. I rotori, ognuno del diametro di 20 metri, si immergono durante il funzionamento, ma possono essere fatti riemergere per la manutenzione.

ÉNERGIE DES MERS

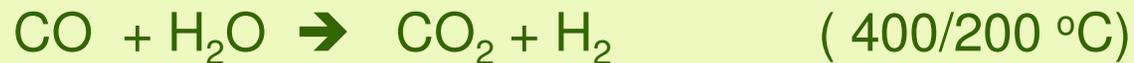
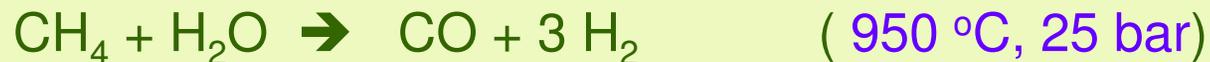


▲ I sistemi per lo sfruttamento del moto ondoso della Ocean Power Delivery trasformano in energia elettrica il movimento dei loro componenti flessibili al passaggio dell'onda. Poiché si tuffano dentro le onde, le macchine Pelamis sono in grado di resistere alle mareggiate più intense.



L'hydrogène - production

- Production mondiale : **500 Gm³/an** (50 Mtonnes/an), soit 1.5 % de l'énergie mondiale (=> lobby de la chimie).
- Utilisation : ammoniacale NH₃ (~ 50 %), hydrogénation etc.
- 98 % de la production à partir du gaz naturel* ou du charbon:



- Par électrolyse : 4-5 kWh / m³, cher et inefficace.

* 1 tep + 600 m³ O₂ => 3000 m³ H₂

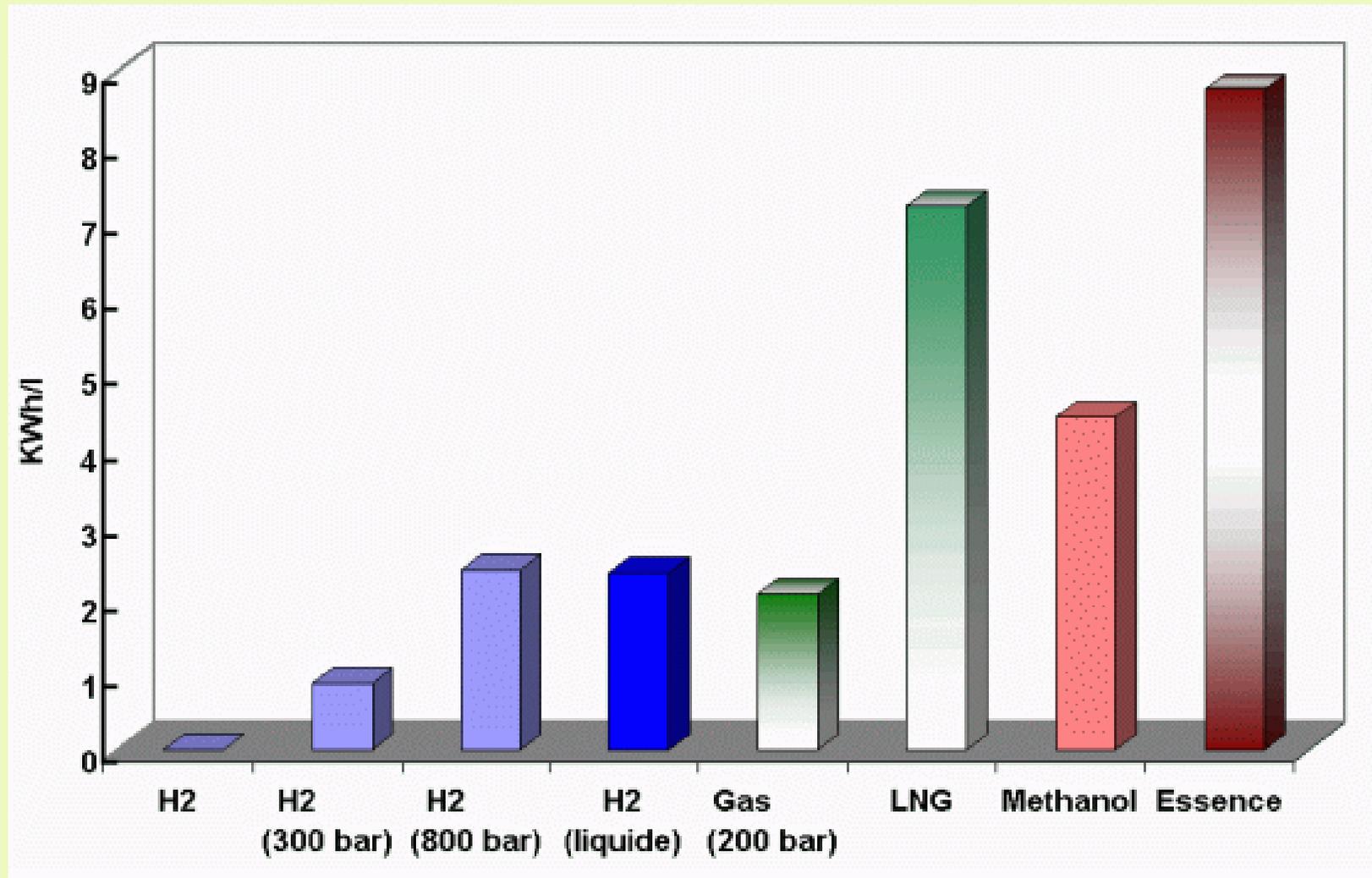
L'hydrogène - stockage

- Liquide à – 253 °C
- Comprimé à 700 Bar, 1 litre d'hydrogène ~ 0.2 litre essence.
- Éponges métalliques : < 20 % en masse d'hydrogène.
Chères et lourdes (réservoir de tondeuse ~ 7kg, ~ 350 €).
- Très explosif et volatile. Flamme invisible.
- Endommage les parois métalliques et filtre à travers.

Properties of Hydrogen

Property	Hydrogen	Methane	Propane	Gasoline
Lower Flammability Limit (%)	4	5.3	1.7	1.3
Lower Detonation Limit (%)	18.3	6.3	3.1	1.1
Upper Detonation Limit (%)	59	13.5	9.2	3.3
Upper Flammability Limit (%)	75	17	10.9	6.0
Auto Ignition Temperature	585 C	537 C	450 C	215 C
Minimum Ignition Energy	0.017 mJ	0.274 mJ	0.240 mJ	0.240 mJ

Densité volumétrique de divers carburants



Hydrogenducs en N-Europe



Le gaz circule à 100 bars dans plus de 1100 km de canalisations. La quantité d'hydrogène qui circule est de plus de 50.000 m³/h (Air Liquide).

FIN !