



Préparation à l'agrégation de
Génie Electrique 2008

Ressources énergétiques renouvelables et solutions électriques

Généralités sur l'énergie, conversion en électricité

Aérogénérateurs électriques (diaporama 2)

Génération photovoltaïque (diaporama 3)

Stockage d'énergie électrique (diaporama 4)

© Ecole Normale Supérieure de Cachan, mars 2008

ISBN : 2-909968-83-9

EAN : 978-2-909968-83-4



Bernard MULTON



Unités d'énergie

Système international : le **joule** *J*

1 J = 1 newton x 1m

= 1 volt x 1 ampère x 1 seconde = 1 V x $6,2 \cdot 10^{18}$ électrons

4,18 J accroissent de 1°C un gramme d'eau

Facture d'électricité : le **kilowatt.heure** *kWh*

1 kWh = 3600 000 J = $3,6 \cdot 10^6$ J (MJ)

Carburants : **tonne équivalent pétrole** *tep*

1 tep $\Leftrightarrow$ 11 600 kWh

Puissance

Le **watt** : 1 watt = 1 J/s ou 1 Wh/h



Bernard MULTON



Equivalences

1 Wh = 3600 J (1 TWh = 10^{12} Wh, 1 EJ = 10^{18} J)
1 t.e.p. $\cong$ 11 600 kWh (tonne équivalent pétrole)
1 baril (159 l ou 140 kg) $\cong$ 1700 kWh
1 BTU (British Thermal Unit) $\cong$ 252 cal $\cong$ 1050 J
1 quad BTU : 10^{15} BTU = 290.10^9 kWh

1 BTU = énergie pour accroître de 1°F une livre (pound, 453 grammes) d'eau

Valeurs énergétiques PCI de quelques combustibles

Hydrogène	39 kWh/kg
Uranium naturel (fission)	116 000 kWh/kg
Fuel	11,6 kWh/kg
Essence	12 kWh/kg
GPL	19,7 kWh/kg

Gaz Naturel	17 kWh/kg
Charbon	7 à 9 kWh/kg
Bois	2 à 4 kWh/kg
Bagasse	2,2 kWh/kg
Ordures ménagères	0,3 à 0,5 kWh/kg



Bernard MULTON



Formes de l'énergie

Chaleur

Travail mécanique

Rayonnement

Chimique

Electricité

Matière : $E = m.c^2$

Dans l'univers, la matière se dégrade inexorablement en chaleur.

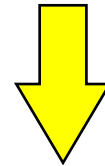


Bernard MULTON



Exemples de « cycles de vie de l'énergie »

réactions nucléaires de fusion d'hydrogène dans les étoiles



rayonnement transmis dans l'espace
intercepté par la terre



Cycle de l'eau



photosynthèse



effet photo-électrique
sur des cellules



Energie hydraulique
(ex. force motrice)



Biomasse (ex. combustion)



Électricité (ex. éclairage)

CHALEUR (ré-émission dans l'espace)



Bernard MULTON



Besoins, ressources impact environnemental



Bernard MULTON



Les besoins en énergie des Hommes

Transports (Hommes et biens) :

Eclairage

Cuisson

Chauffage

Froid

besoins très dépendants du climat

Travail mécanique agricole, industriel

Process divers de l'industrie

Traitement de l'information

Divers





Les sources « primitives »

LE **FEU** à partir du bois ou d'huile : il a servi à presque tout.

LA **FORCE ANIMALE** (bœufs, chevaux, chiens, dromadaires...)

L'**EAU** des rivières et des marées (moulins, forges...)

LE **VENT** (pompes, moulins...)



LES **COMBUSTIBLES FOSSILES**

AV J.C. Chine : forages pétrole, XIII^e siècle : charbon, début 1800 : gaz de houille,
1930 : gaz naturel



Bernard MULTON



Les sources « modernes » du 20^{ème} siècle

LES **COMBUSTIBLES FOSSILES**

charbon, pétrole, gaz naturel

L'URANIUM (FISSION ATOMIQUE)

Ressources primaires

Les vecteurs d'énergie :

L'ÉLECTRICITÉ, LE GAZ NATUREL...

Et peut-être un jour : **L'HYDROGÈNE**

Durant, le 20^{ème} siècle, prise de conscience planétaire :

- nos ressources sont limitées, notamment celles en énergie
- nous perturbons notre environnement

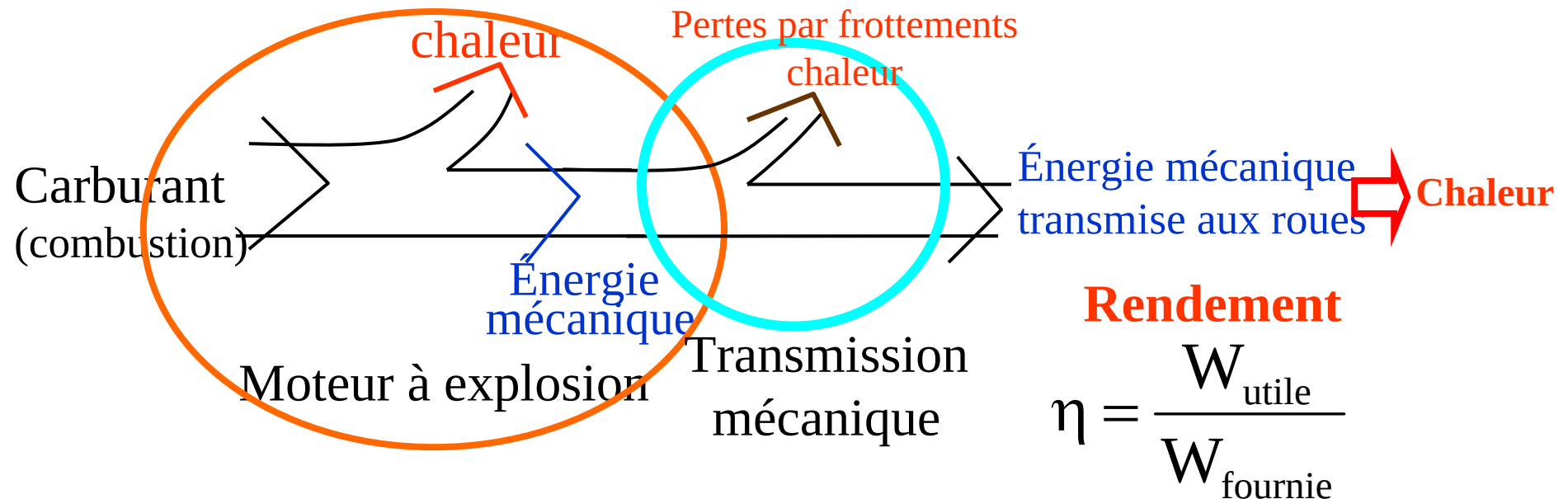


Conversion d'énergie et rendement énergétique

L'énergie ne se perd pas, elle se transforme ou se convertit

Lors d'une **conversion**, une partie de l'énergie est « perdue » ou dissipée

Exemple : moteur thermique à explosion pour la propulsion d'une voiture





Mais finalement quel est le « vrai » besoin ?

Ressource primaire



Conditionnement

Transport et stockage éventuels



Transformation (conversion) finale



Service rendu

Une nouvelle définition du rendement :

$$\text{«Rendement»} = \frac{\text{Service rendu}}{\text{ressource primaires} + \text{rejets}}$$

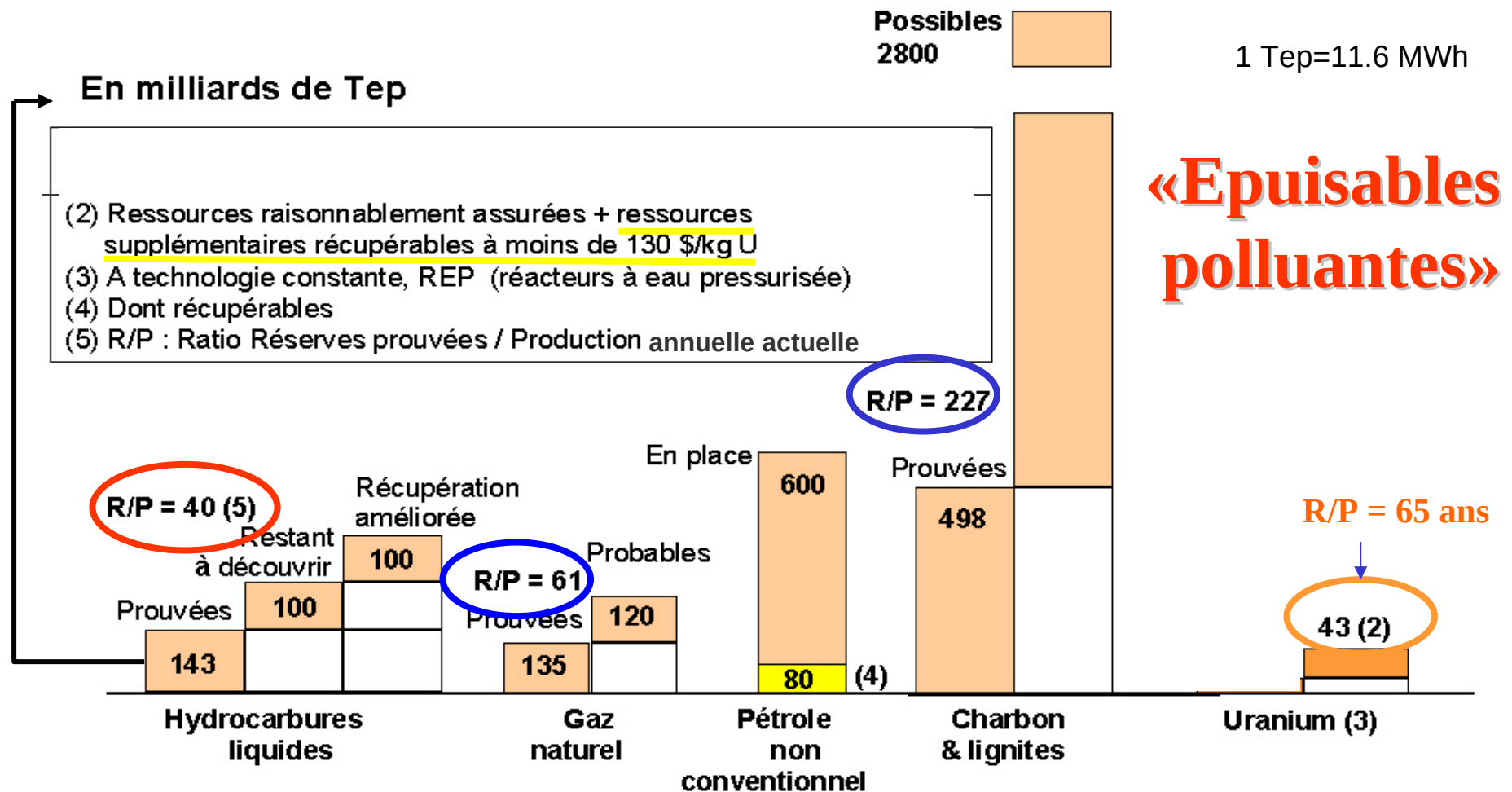
Aspects physiques, économiques et sociologiques...



Les ressources énergétiques

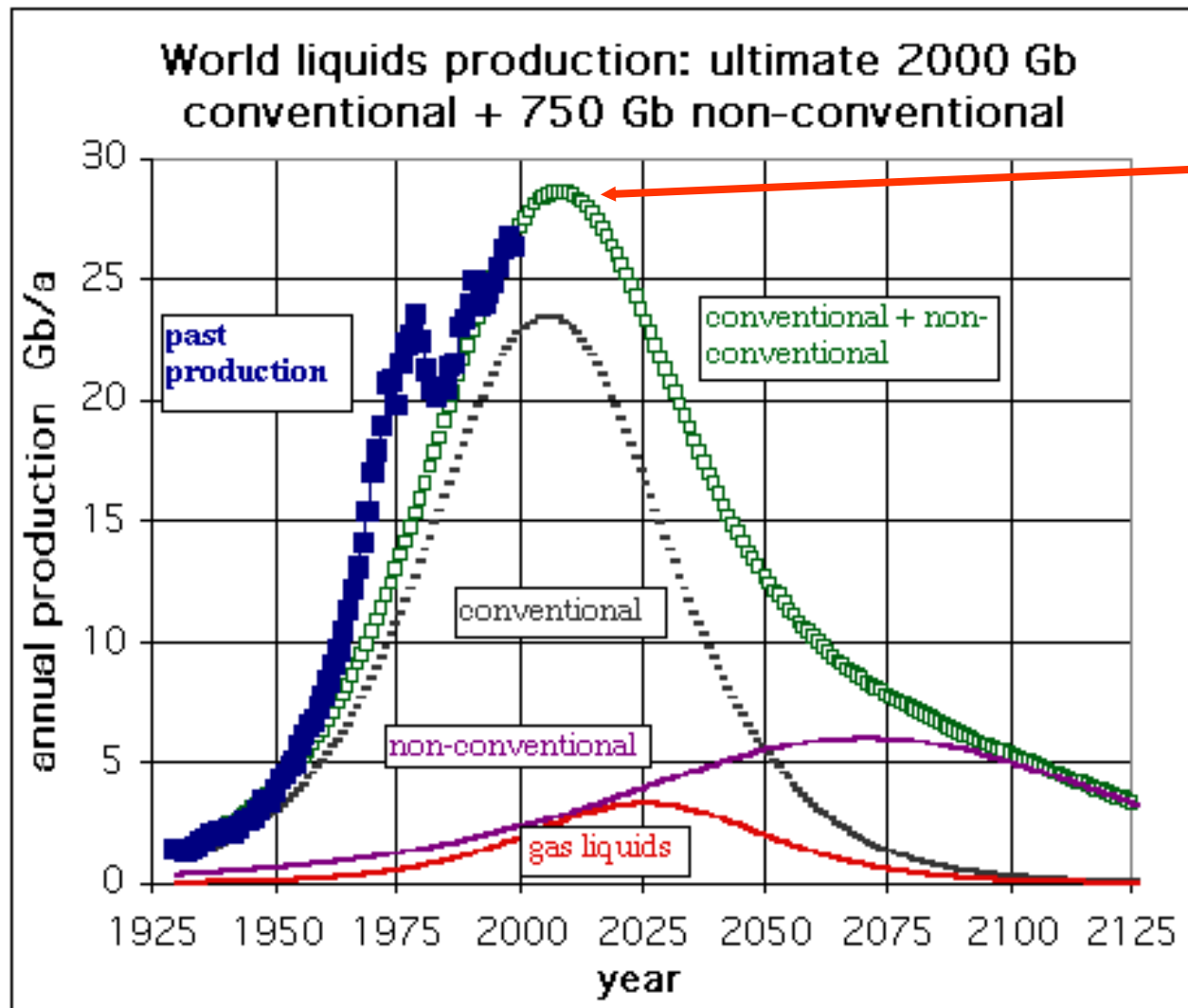
non renouvelables :

réerves en Gtep et en durée au rythme actuel de consommation





Production de pétrole conventionnel et non-conventionnel, courbes de Hubbert



1 baril = 1700 kWh

28 Gb = 47.10^{12} kWh

Depuis les années 1980, on consomme plus de pétrole que l'on en découvre...

Source : Jacques Laherrere, www.oilcrisis.com

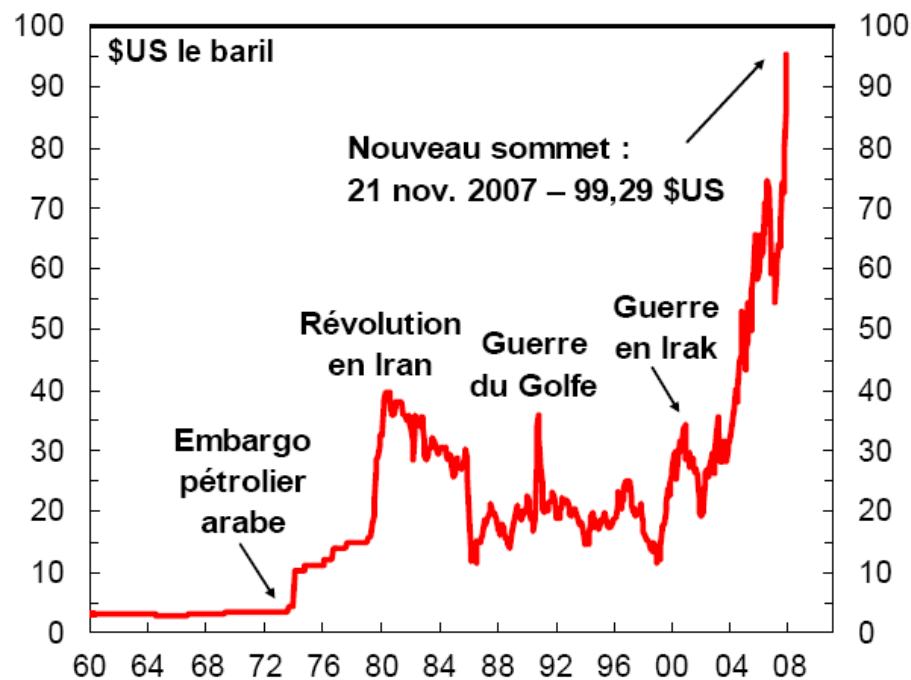


Bernard MULTON



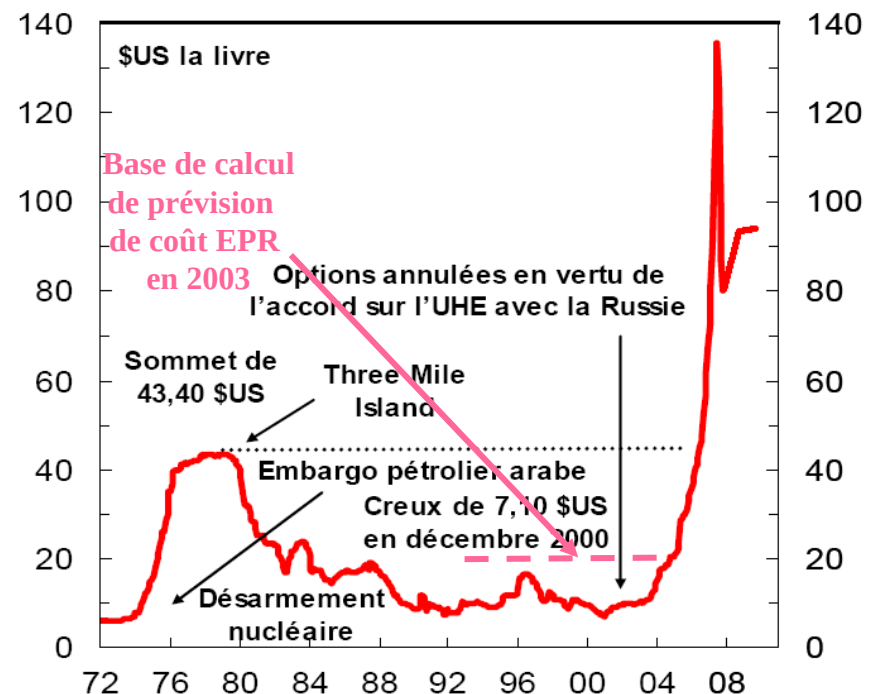
Les cours des matières premières énergétiques fluctuent et affectent économie et stabilité politique...

Le baril de pétrole brut : la référence



Et (en Europe), le prix du gaz naturel fluctue comme celui du pétrole...

Le cours de l'uranium : également instable



10 \$/lb = 26 \$/kg

Prix uranium : X 10 en 4 ans

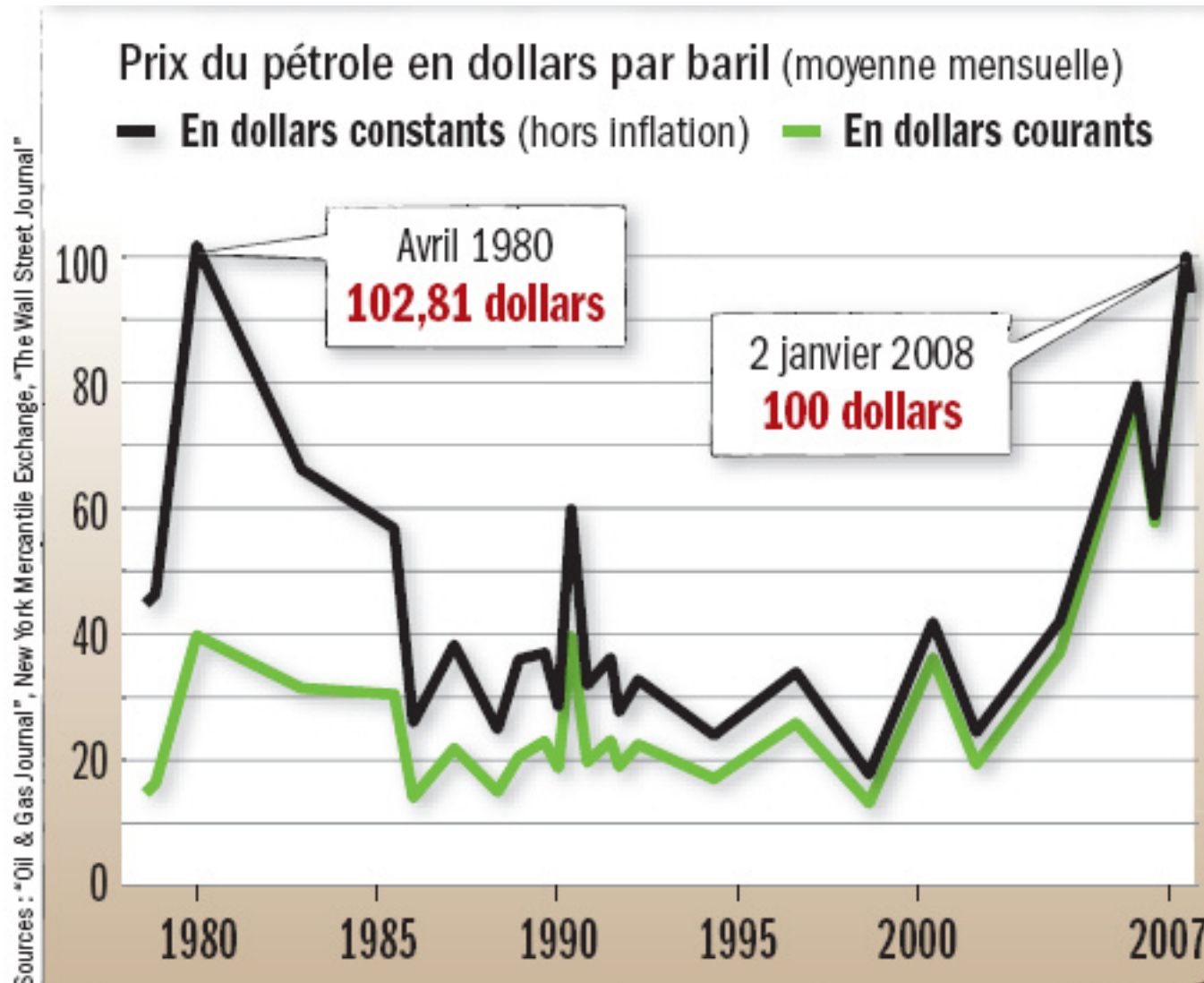


Bernard MULTON



Remarque :

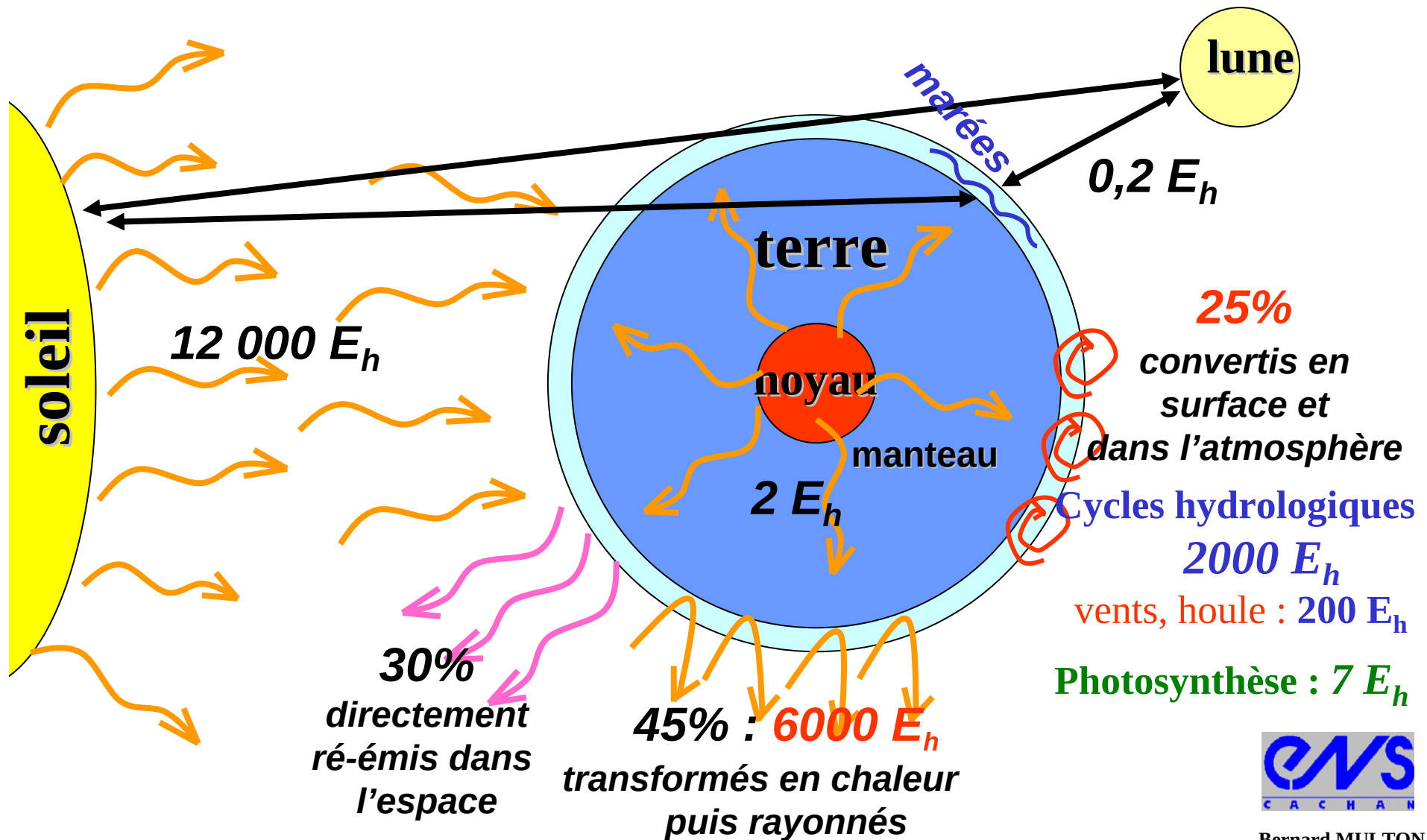
En monnaie constante (compte tenu de l'inflation),
le pétrole n'est pas si cher...





Ressources énergétiques renouvelables

Valeur de référence : activités énergétiques humaines $E_h \approx 140.10^{12} \text{ kWh}$





Chaque année, la nature délivre à la surface de la terre des ressources énergétiques renouvelables égales à 8000 fois la consommation humaine

part exploitable ramenée à la totalité des 140.10^{12} kWh

SOLEIL

rayonnement :	1% des 720.10^{15} kWh =	5000%
hydraulique :		15%
vent :		70%
houle :		0,3%
biomasse :		50% à 700%

GÉOTHERMIE

basse température (50 à 90°C) :	0,2%
haute température (150 à 350°C) :	0,03%

MARÉE : 0,2%



Bernard MULTON



Ressources de la biomasse

Bois

Agro-carburants (colza, tournesol, betteraves, blé...) en croissance

Méthanisation



Part renouvelable terrestre (environ 20%) : environ $800 \cdot 10^{12}$ kWh

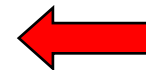
raisonnablement exploitable : $80 \cdot 10^{12}$ kWh ??

environ $30 \cdot 10^{12}$ kWh nécessaires pour la nourriture (végétaux et animaux)
et déjà $80 \cdot 10^{12}$ kWh globalement exploités par l'humanité...

dont 10 à $15 \cdot 10^{12}$ kWh pour les services énergétiques

Des ressources importantes mais à renouveler

- 12 à 14% de la consommation primaire mondiale
- pays pauvres : 70 à 90%
- en développement : 40 % (Chine, Inde...)
- industrialisés : < 10%



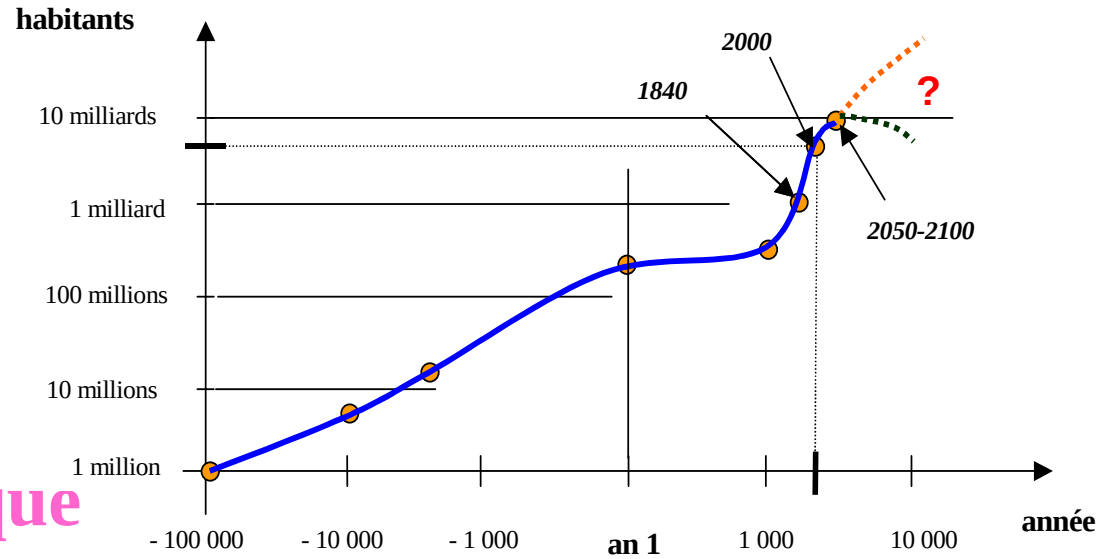
**Souvent
non renouvelées...**



Bernard MULTON



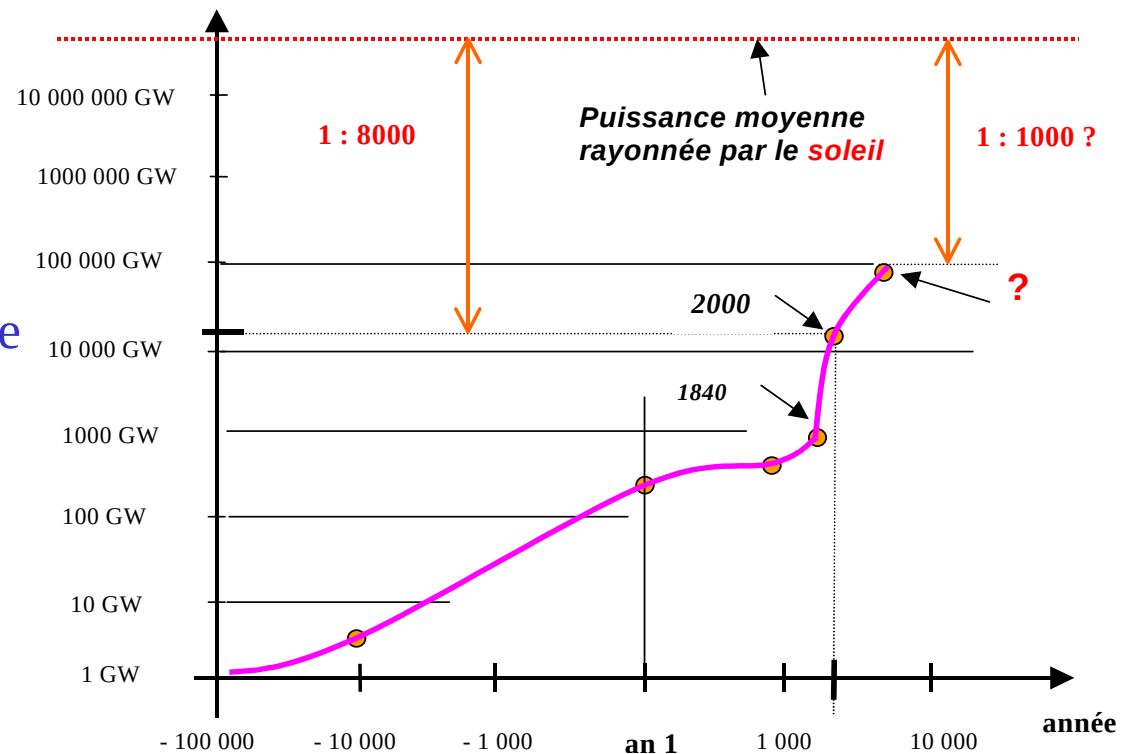
Croissance de la population humaine, corrélation à la consommation énergétique



Besoins métaboliques :
2,4 kWh/j/personne

1 français consomme : 120 kWh/j

1 américain : 250 kWh/j





De l'énergie «primaire» à l'énergie «finale»

Définitions de la DGEMP (Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières)

<http://www.industrie.gouv.fr/energie>

Consommation d'énergie finale : consommation d'énergie finale - nette des pertes de distribution (exemple : pertes en lignes électriques) - de tous les secteurs de l'économie, à l'exception des quantités consommées par les producteurs et transformateurs d'énergie (exemple : consommation propre d'une raffinerie). La consommation finale énergétique exclut les énergies utilisées en tant que matière première (dans la pétrochimie notamment).

Consommation d'énergie primaire : consommation finale + pertes + consommation des producteurs et des transformateurs d'énergie (branche énergie).
La consommation d'énergie primaire permet de mesurer le taux d'indépendance énergétique national, alors que la consommation d'énergie finale sert à suivre la pénétration des diverses formes d'énergie dans les secteurs utilisateurs de l'économie.

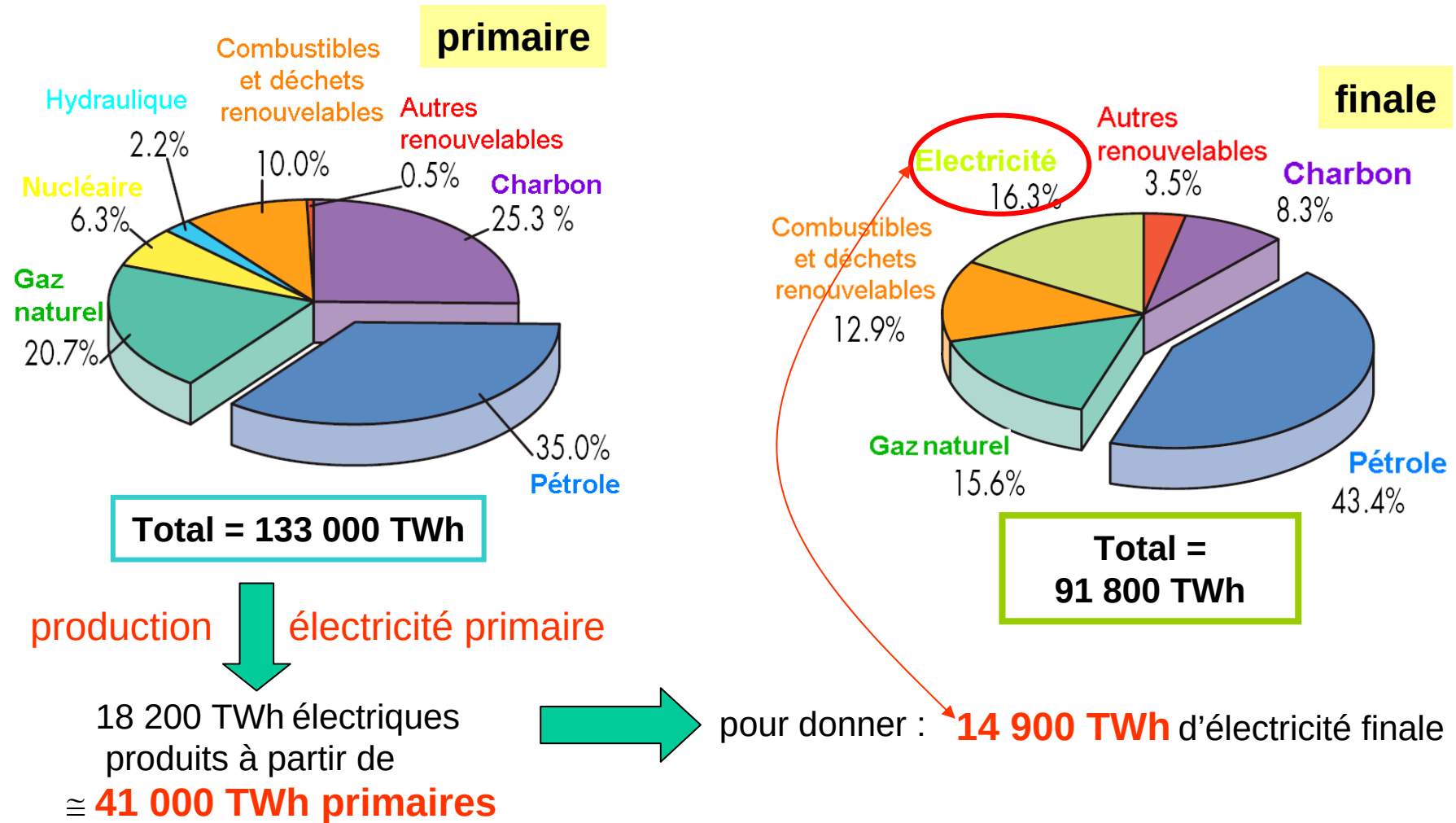
Consommation corrigée : consommation corrigée des effets de température et éventuellement des effets d'autres facteurs (hydraulicité, activité économique, jours ouvrables). Dans les bilans, les corrections sur la consommation finale portent uniquement sur les effets de température. La consommation observée avant toute correction est en général appelée consommation réelle.

Voir les statistiques françaises sur le site web de la DGEMP



Consommation primaire d'énergie (commerciale) 2004

source AIE (rap. 2006)



Source AIE (Key World Energy Stat. 2007)



Bernard MULTON



Consommation française (2006)

En Mtep

Ressources primaires
(non corrigées du climat)

Charbon

12,41

P+DS : -0,74(*)
I : 13,15

Soutes maritimes
internationales

2,81

0,22

Pertes ¹ et rendement de conversion,
usages internes

Consommation finale
(corrigée du climat)

Charbon
et coke

6,98

0,01 correction climatique

Pétrole

91,30

I : 93,25

Produits
pétroliers

85,67

0,52 correction climatique

Gaz naturel

39,36

P+DS : 0,12
I : 39,24

Gaz

36,55

0,98 correction climatique

Production
Nucléaire

117,32

Centrales thermiques
classiques

Centrales
hydrauliques
et éoliennes

Électricité

37,00

0,22 correction climatique

Énergies
renouvelables **
et déchets

18,29

P+DS : 18,28
I : 0,01

ENRt*
et déchets

10,91

0,74

TOTAL 273,23 Mtep

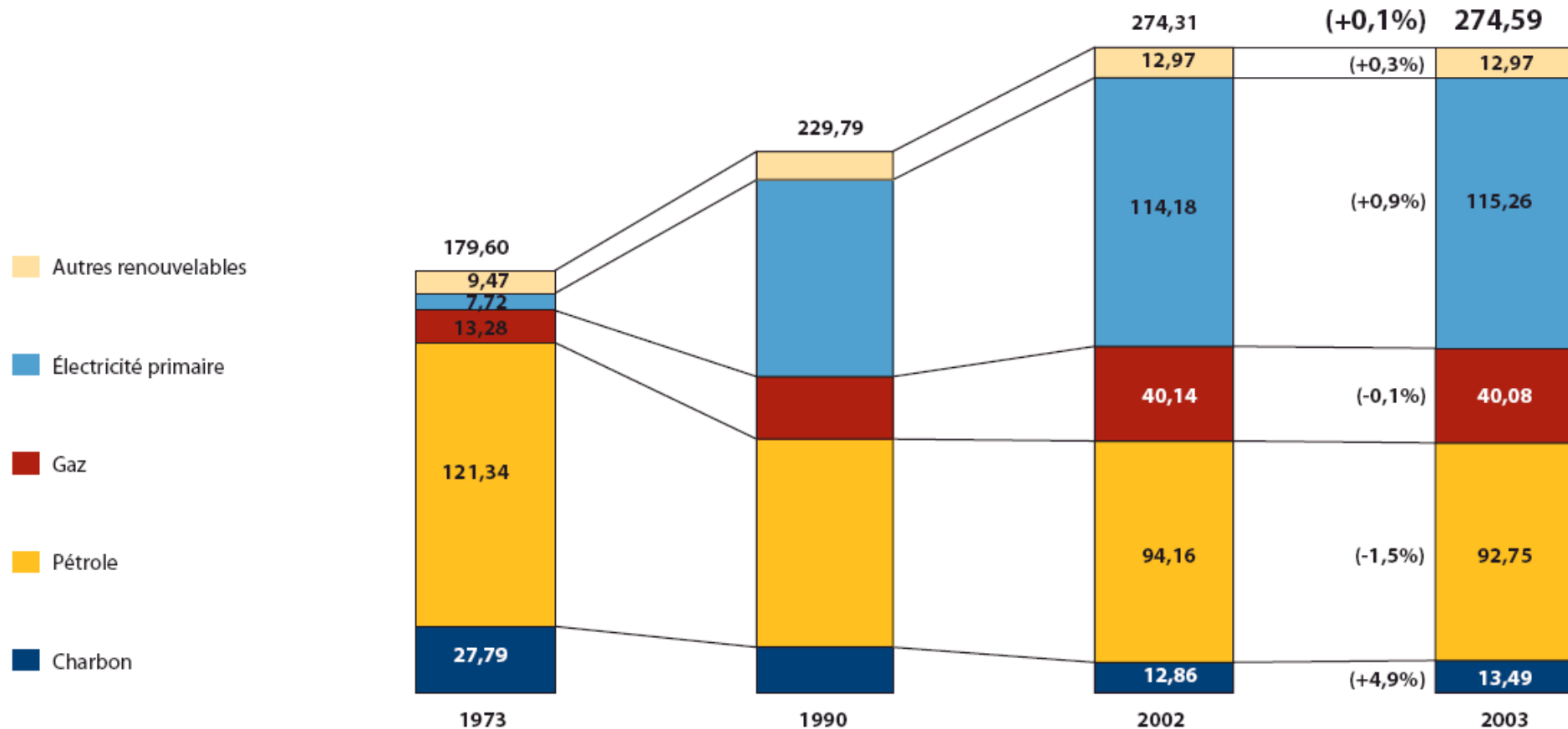
Solde exportateur
d'électricité

TOTAL 177,11 Mtep



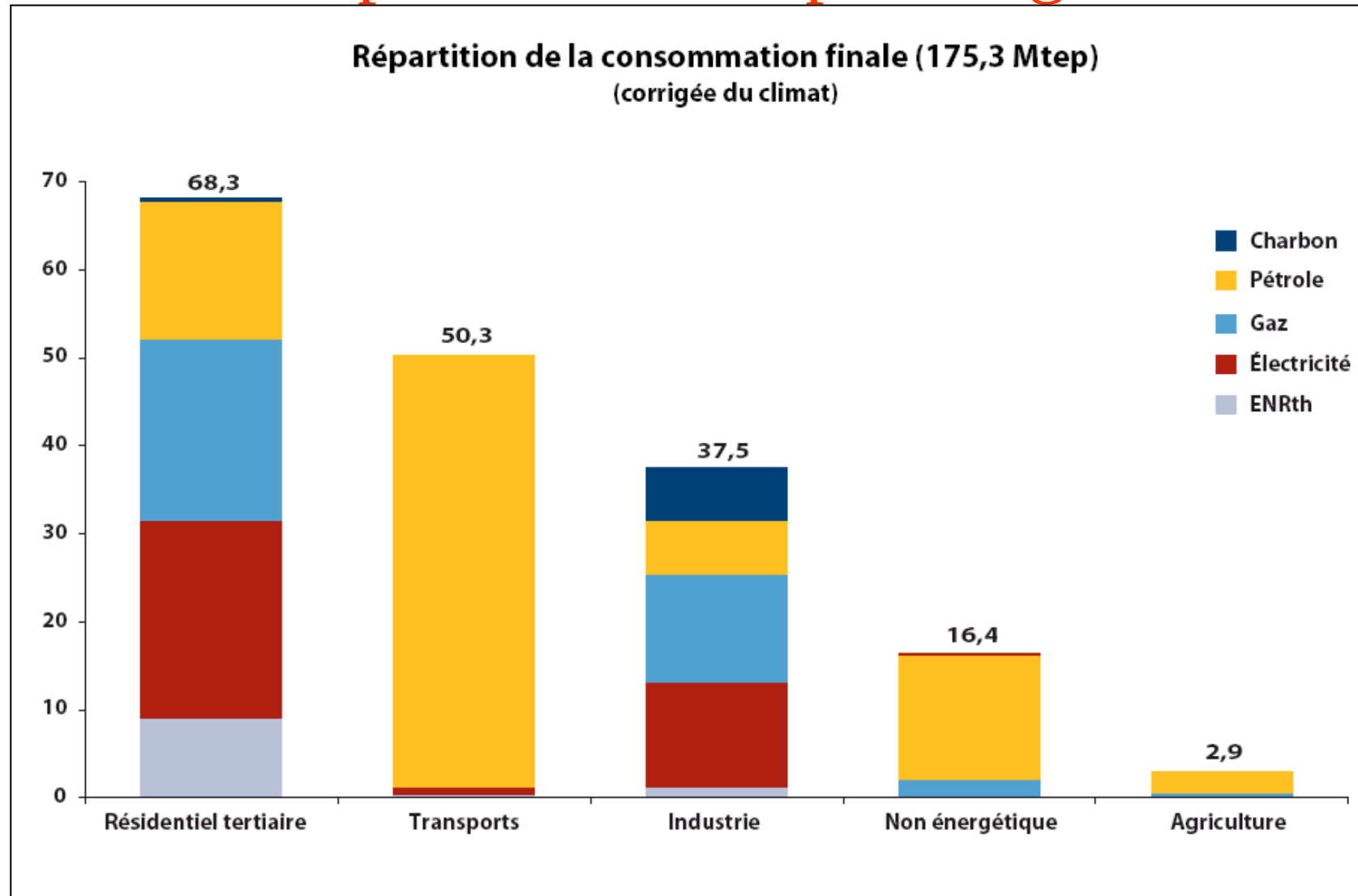
Consommation **primaire** française par sources

Consommation d'énergie primaire corrigée du climat en 1973, 1990, 2002, 2003 (Mtep)



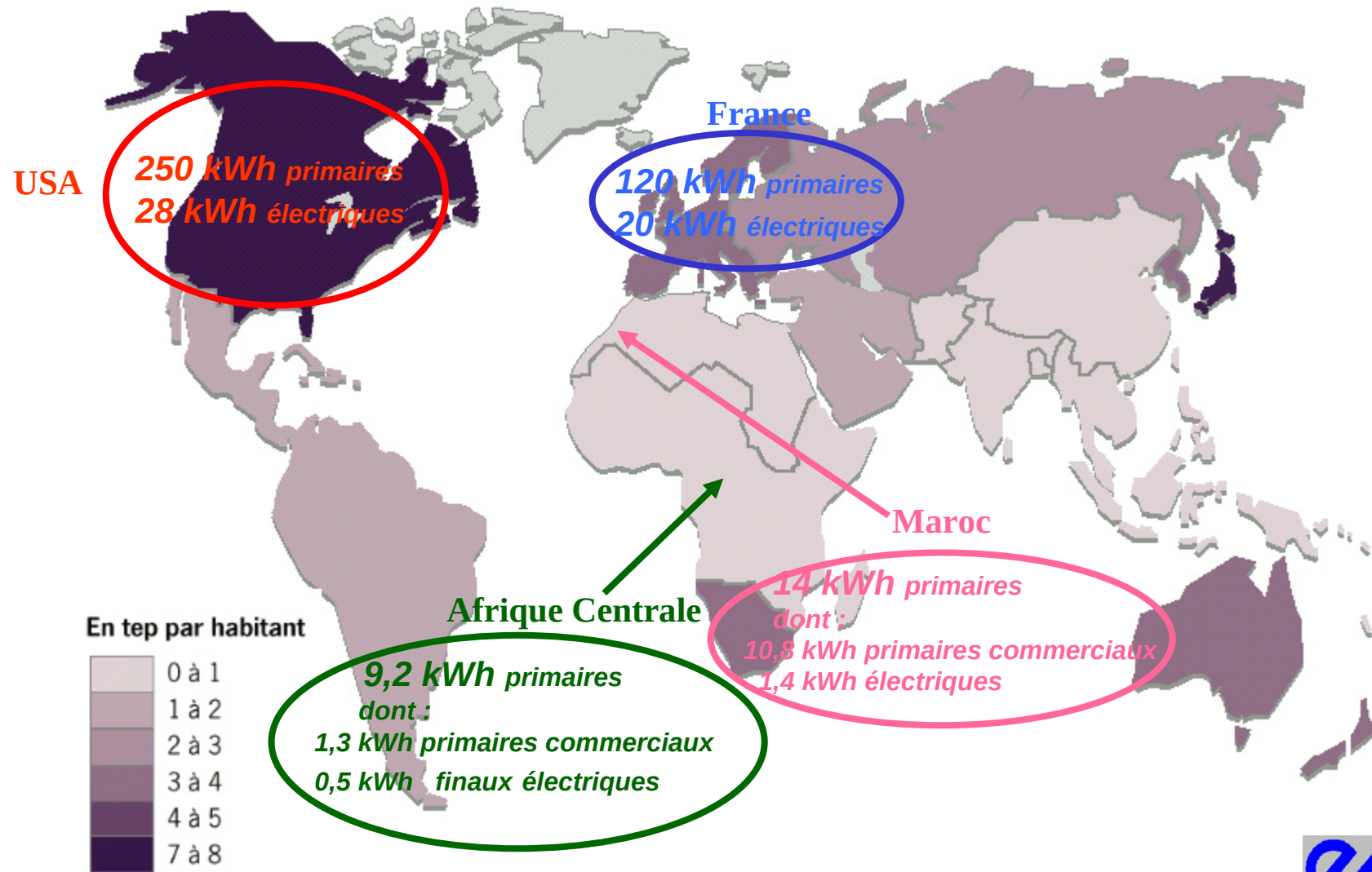


Consommation **finale** française par sources et par usages





Consommation d'énergie par habitant



1 tep/an/hab = 31 kWh/jour/hab

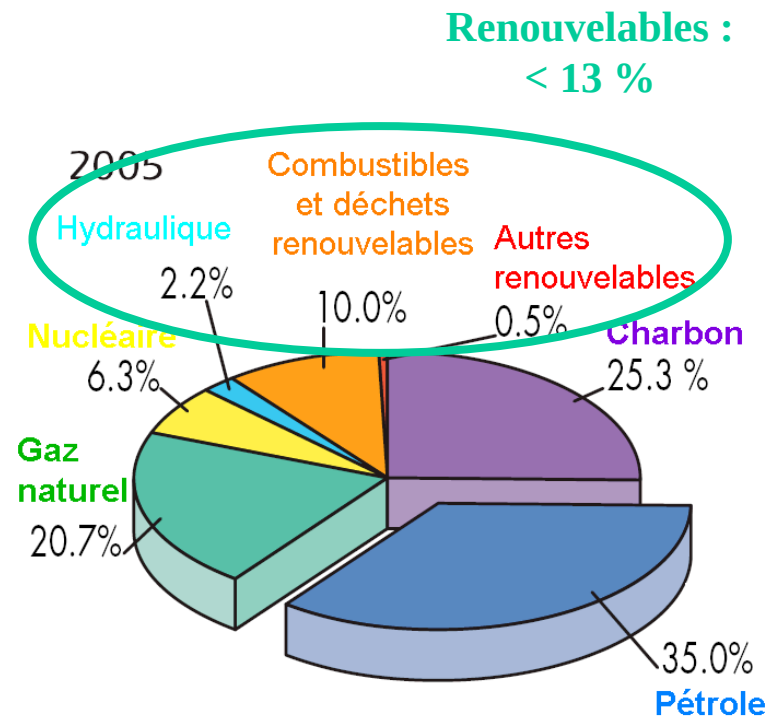
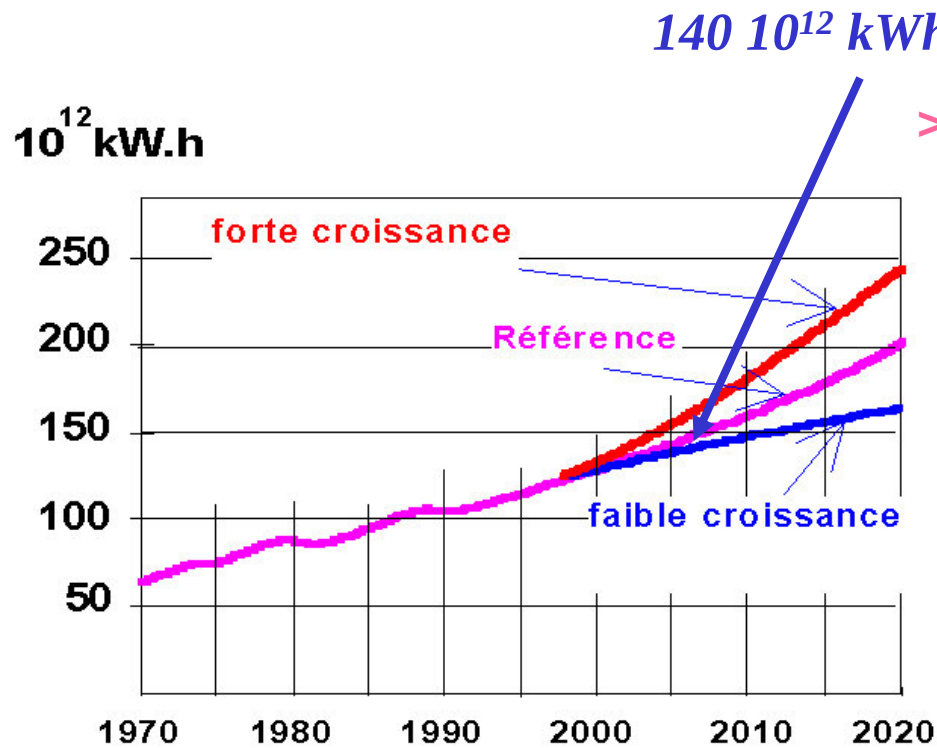
Source : www.iepf.org



Bernard MULTON



Croissance de la consommation globale d'énergie primaire





Part de l'électricité-énergie dans la consommation

(hors énergie électrique produite dans les systèmes embarqués)

10 ¹² kW.h	Énergie primaire	Énergie électrique	% électricité
1940	20	0,5	2,5%
1960	40	2	5%
1980	80	7	8,7%
2000	140	17	12%
Maroc	0,15	0,015	10%
France 2005	3,2	0,48	15%

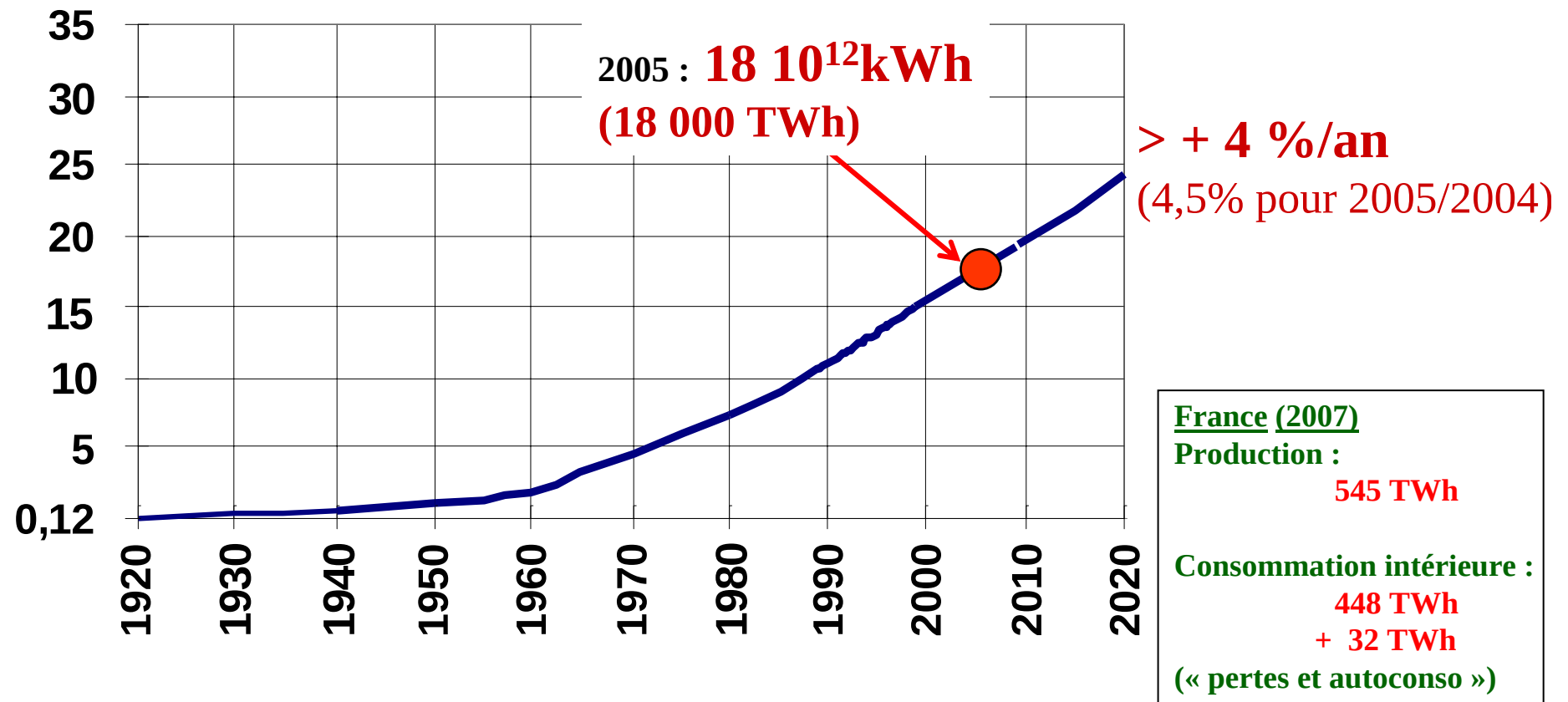
Notons que pour une part de 11% en énergie finale,
la production d'électricité consomme
30% de l'énergie primaire mondiale (*les transports : 17%*).





L'énergie électrique : croissance de la production

10^{12} kWh



Capacité de production mondiale : > **3900 GW** (Chine 650 GW + 100 GW/an)
(France : 115 GW)



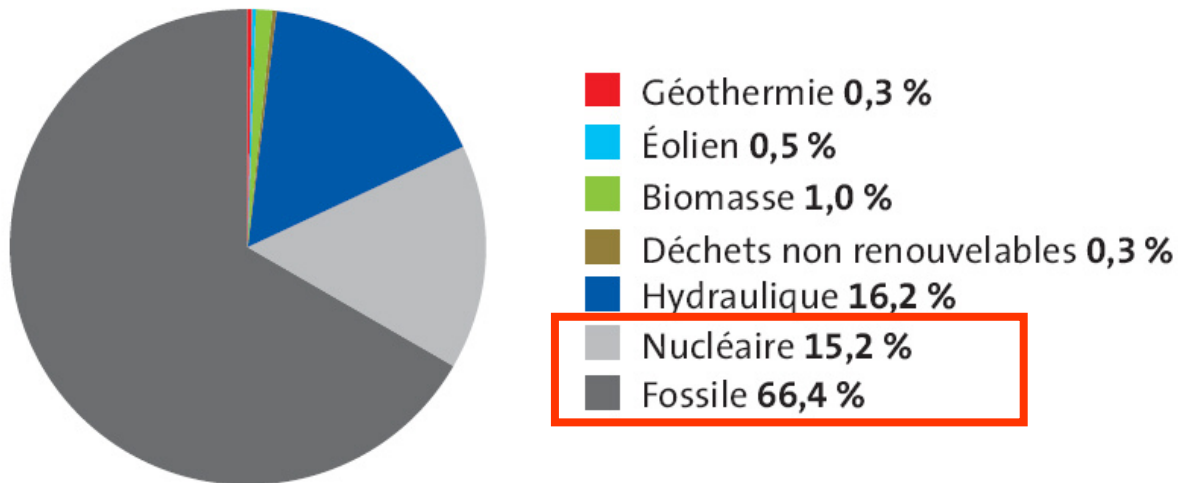
Bernard MULTON



Production d'énergie électrique par source

Structure de la production d'électricité – 2005

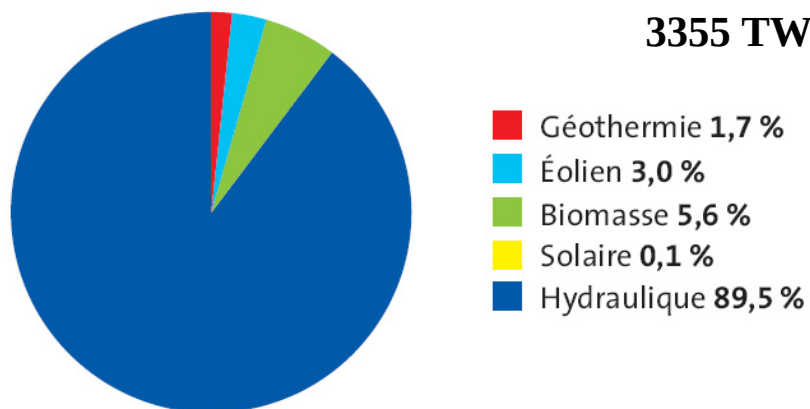
18 235 TWh en 2005 (+ 4,8% / 2004)



**81,6 % de l'électricité mondiale
est d'origine non renouvelable**

Structure de la production électrique d'origine renouvelable – 2005

3355 TWh en 2005 (+ 6,2% / 2004)



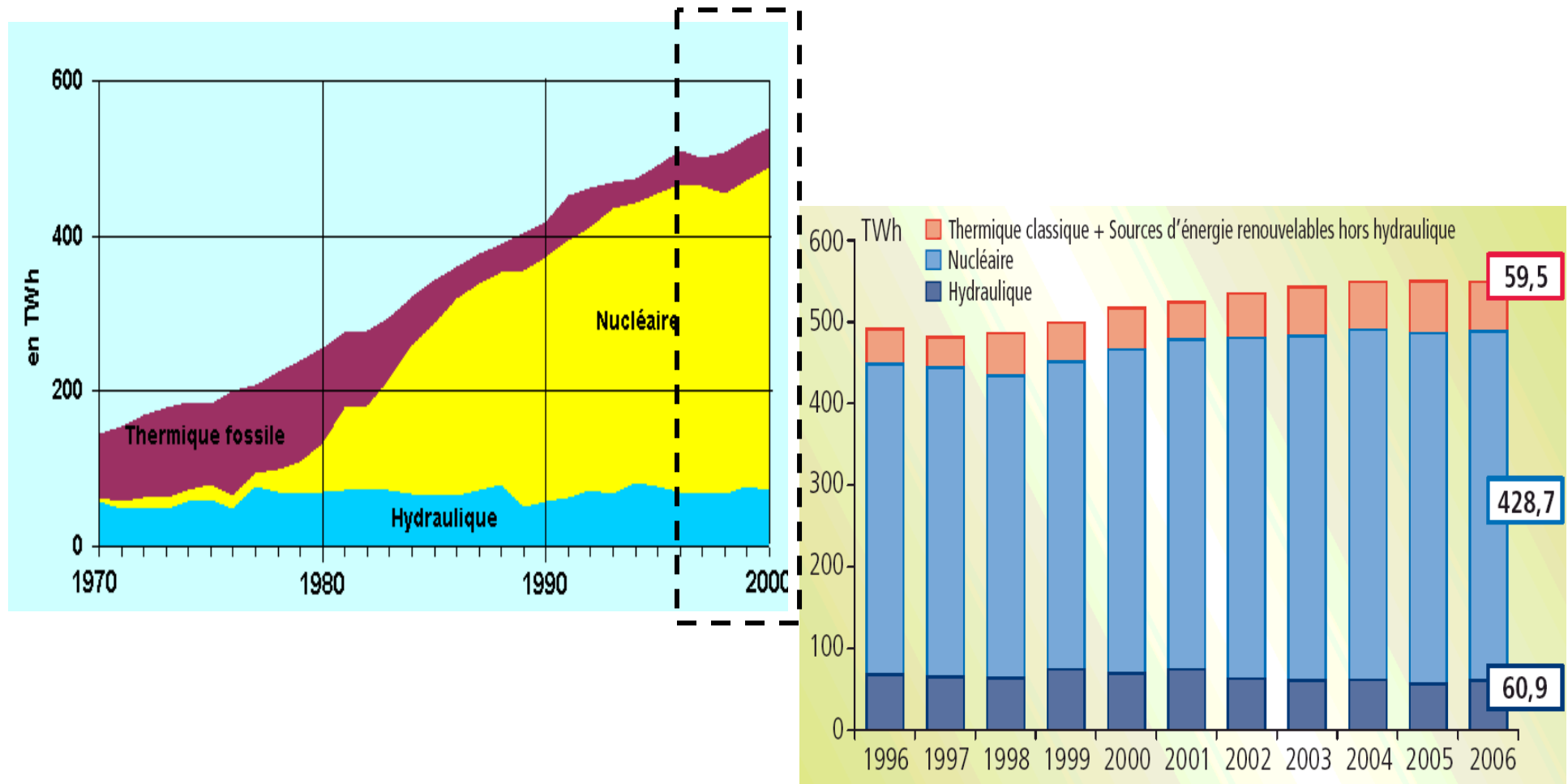
Source : Observ'ER



Bernard MULTON



Production d'électricité (énergie finale) : la situation française



Source : RTE bilan France 2006



Production d'électricité par les renouvelables

L'hydraulique :

- Potentiel le plus facile à exploiter :
740 GW installés - $2,7 \cdot 10^{12}$ kWh
(environ 25 GW en France)
En 2005 : 120 GW en construction,
400 GW en projets
- De très loin, la source
renouvelable la plus utilisée
- Production centralisée
et décentralisée
- Productivité annuelle élevée
3000 à 7000 heures/an
- **Stockage** d'énergie aisé : pompage – turbinage



Itaipu 12,6 GW – $90 \cdot 10^9$ kWh
(la plus grande centrale du monde)



Les petites centrales hydroélectriques (PCH)



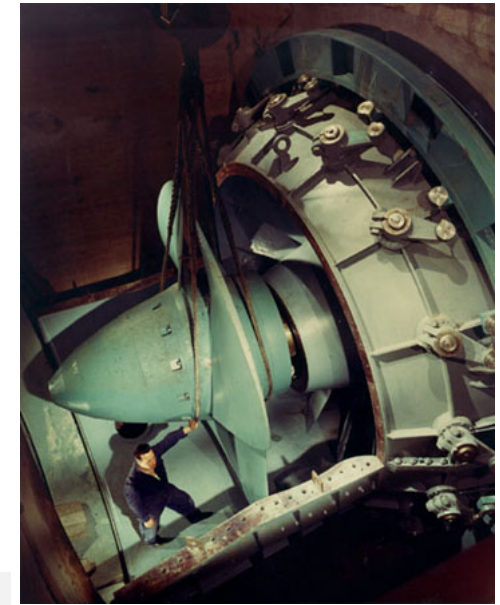
- Définition PCH :
 $P < 0,5$ à 50 MW (Brésil),
en France : $P < 5$ MW (microcentrales) entre 5 et 10 MW (mini)
potentiel de 3500 chutes aménageables pour 7.10^9 kWh
- Dans le monde : 37 GW installés et plus de 100.10^9 kWh produits
(plus de 3% de l'hydro-électricité)
Croissance attendue de 18 GW d'ici 2010
- Un potentiel insuffisamment exploité
très intéressant pour la décentralisation de la production
peu perturbateur pour l'environnement



Centrales de basse chute, turbine Kaplan (axe vertical) 5 à 80 m



Groupe bulbe ACEC
Kaplan axe horizontal
2,5 MW – 97,5 tr/min
Diam 3,6 m
Rendement Groupe 90%



Centrale d'Ampsin-Neuville
(Belgique) **10 MW** - 43 GWh/an
Chute 4,65 m - Débit 270 m³/s

$$P_{\text{hydro}} = \rho \cdot g \cdot h \cdot d = 12,3 \text{ MW}$$

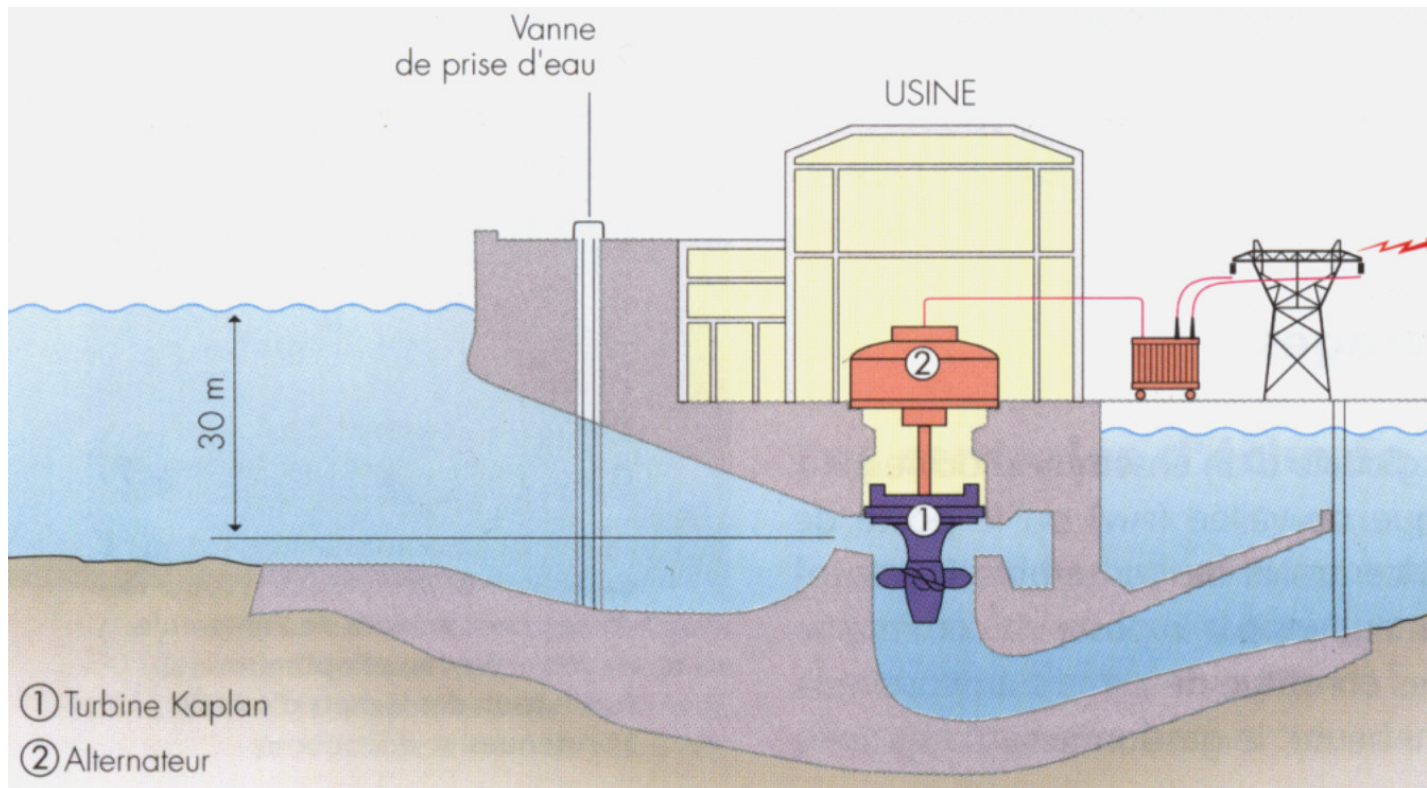


Photo : [Bas_00] *Electricité Voyage au cœur du système*, Eyrolles 2000.



Bernard MULTON



Centrales de moyenne chute, turbine Francis : 30 à 750 m

3 Gorges : 18 GW maxi, moyenne 14 300 m³/s – 113 m de chute



Turbines Neyrpic 700 MW, 75 tr/min
Chute 80 m. Diamètre 9,8 m 425 tonnes
Alternateur : 778 MVA 80 pôles 3400 tonnes

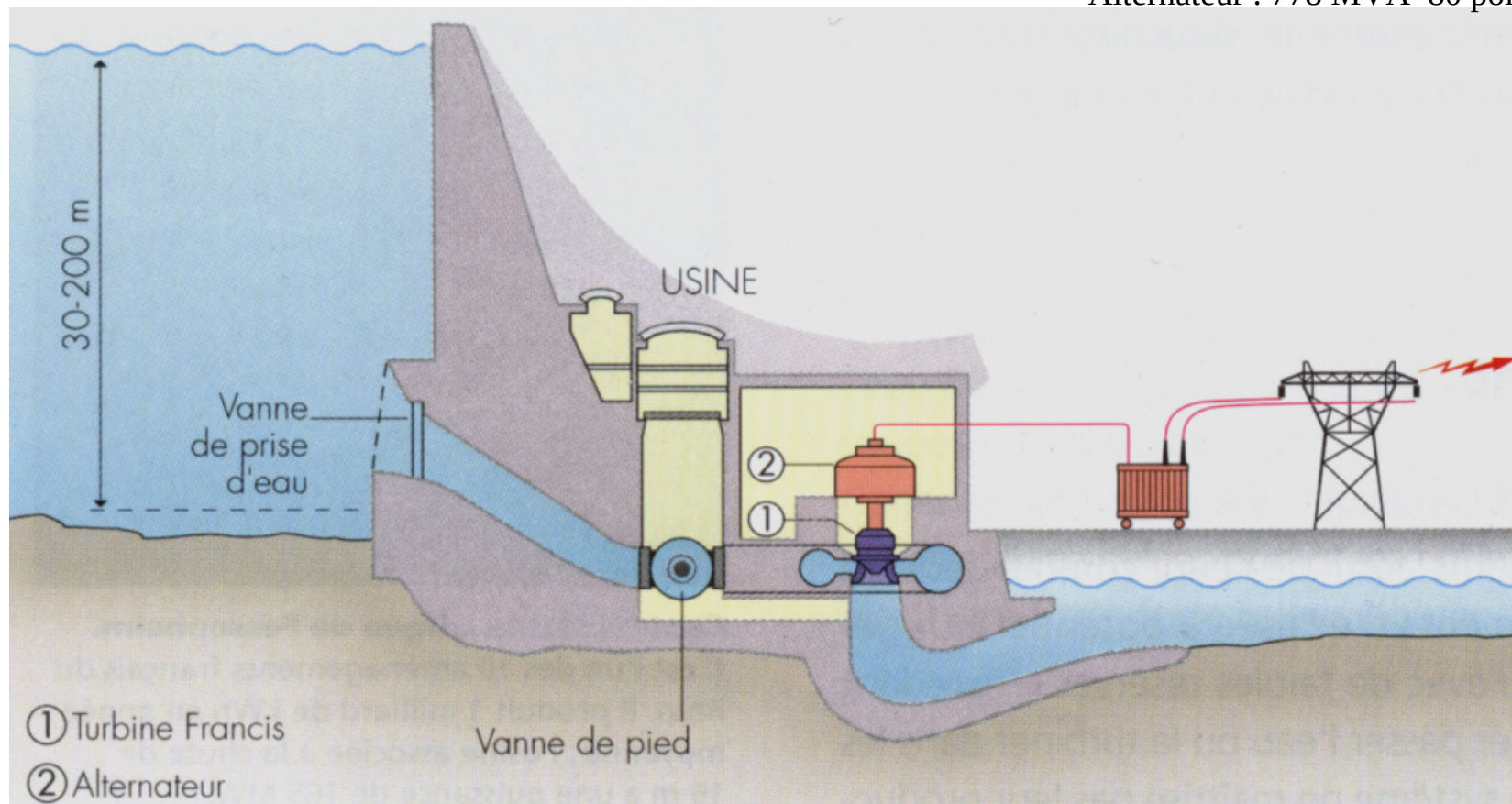


Photo : [Bas_00] Electricité Voyage au cœur du système, Eyrolles 2000.

Bernard MULTON



Centrales de haute chute, turbine Pelton : 30 à 1800 m



La Jonche (38) - 2250 kW - 1 turbine 2 jets - chute: 237 m - Débit maximum 1,2 m³/sec

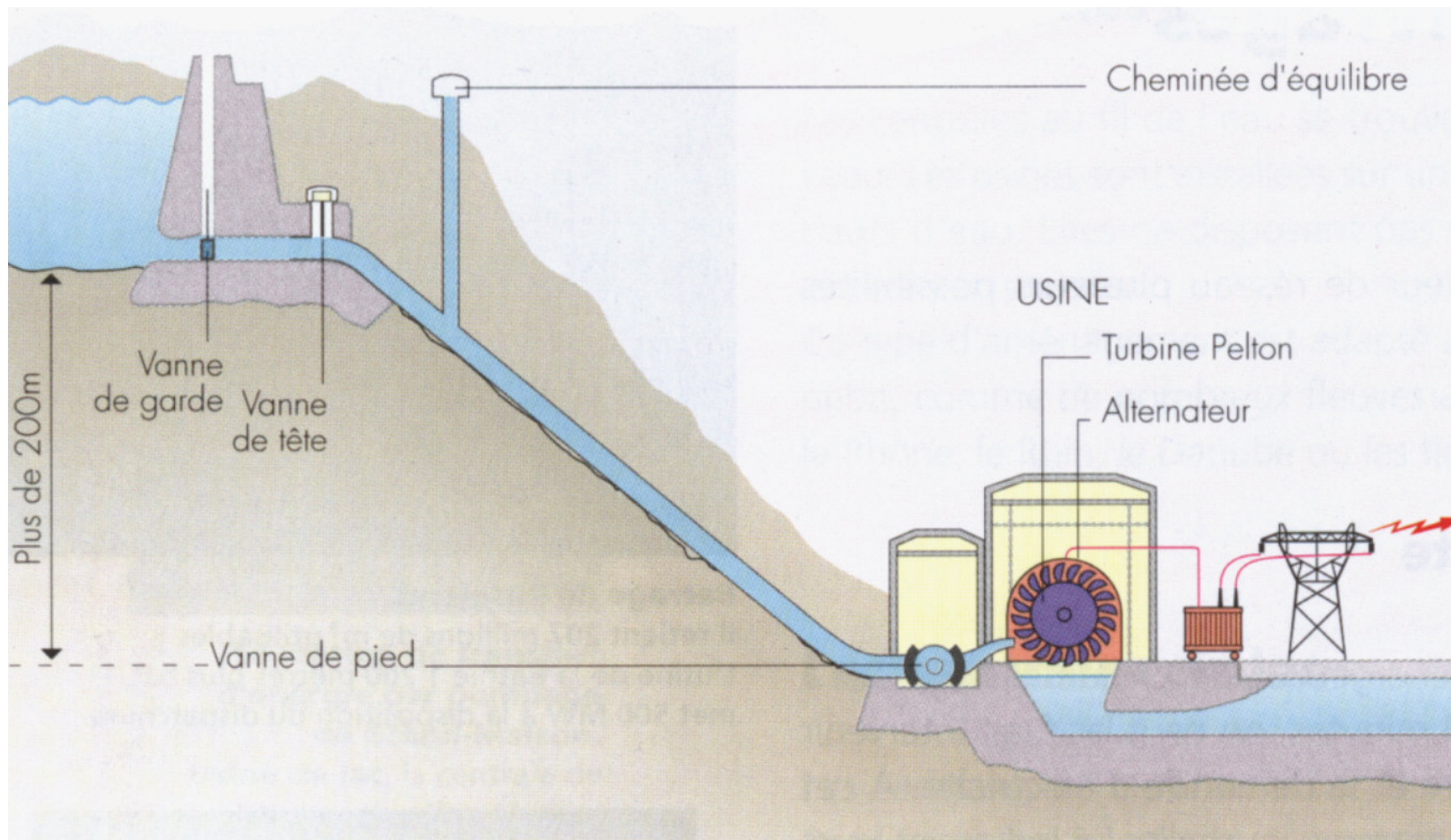


Photo : [Bas_00] *Electricité Voyage au cœur du système, Eyrolles 2000.*

Bernard MULTON



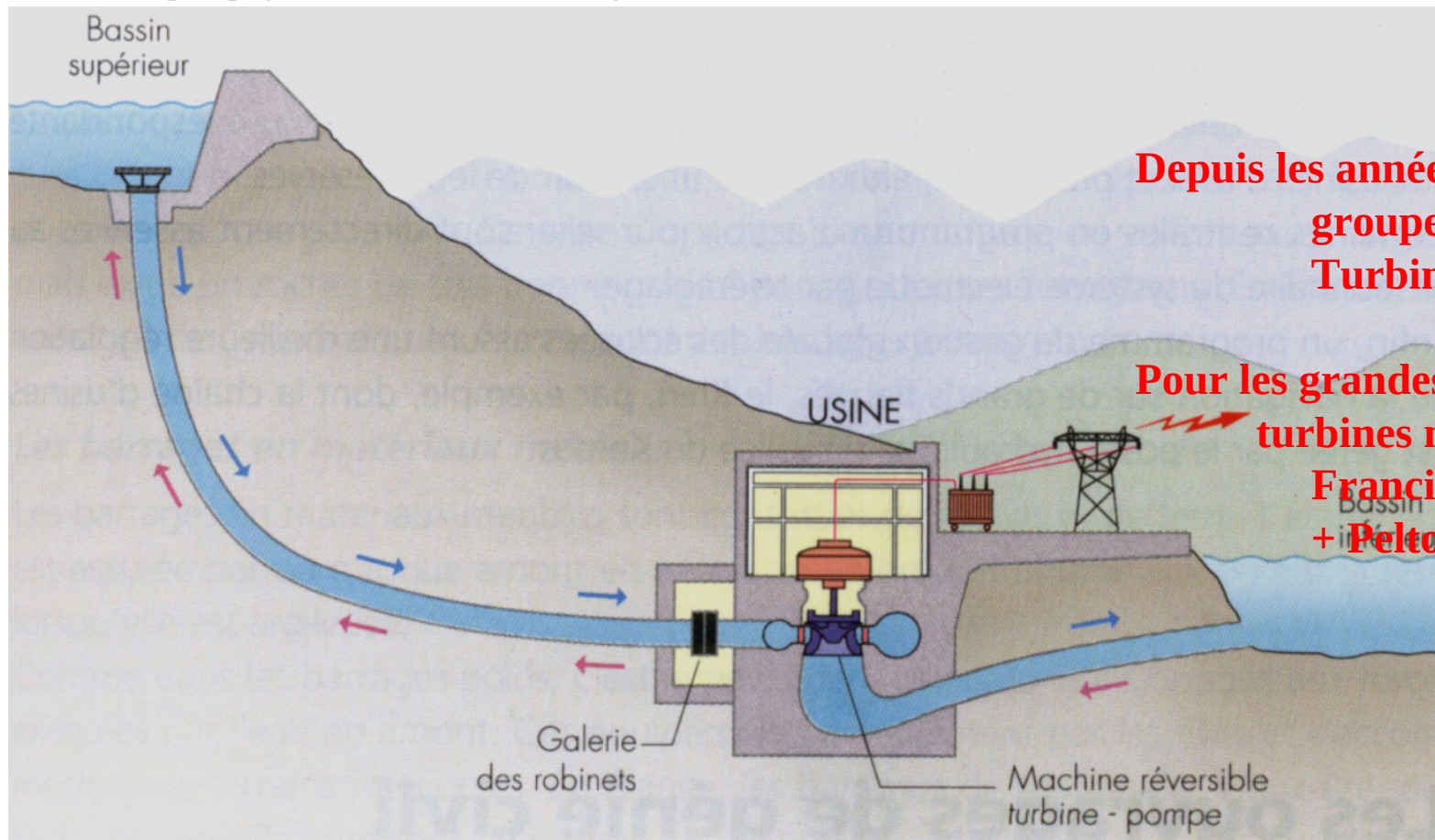
Centrales de pompage-turbinage

au monde : 140 GW (3,6%) sur 3800 GW

en France : 6,3 GW (5,4%) (+ Suisse) sur 116 GW



Usine de Grand'Maison (Isère) 12 groupes 150 MW – hauteur de chute 935 m – stockage 170 Mm³
1400 MW en pompage - 1800 MW en turbinage



Depuis les années 1970 :
groupes réversibles
Turbines Francis

Pour les grandes hauteurs :
turbines multiétages :
Francis
+ Pelton (en turbinage)

Photo : [Bas_00] Electricité Voyage au cœur du système, Eyrolles 2000.



Bernard MULTON



Electricité thermodynamique solaire

(CSP Concentrated Solar Power)

Centrales à tour, héliostats et turbine à vapeur

Fluide caloporteur : sel fondu

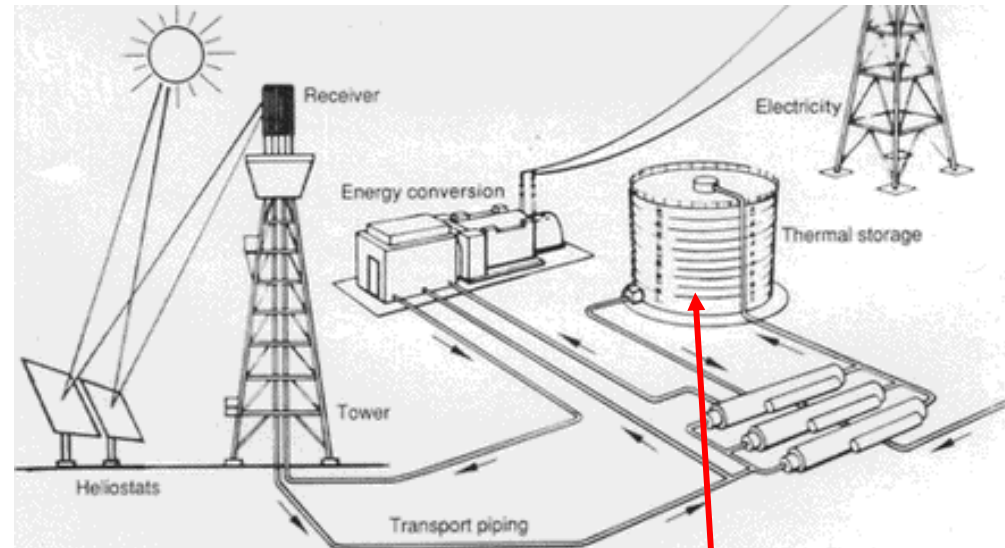
Historique : **Thémis**

1,8 MW_e miroirs 11 800 m²
1982 (France)

- **Solar Two** 10 MW_e 71 500 m²
1996-1999, USA (Barstow Californie)



www.eere.energy.gov/



www.eere.energy.gov/

Thémis : 200 miroirs (rendement 90%) orientation pilotée 2 axes
Puissance thermique 9 MW Puissance électrique 1,8 MW.
Rendement moyen annuel de l'ordre de 15%.

Problème : cyclage thermique dû aux passages nuageux et aux cycles journaliers

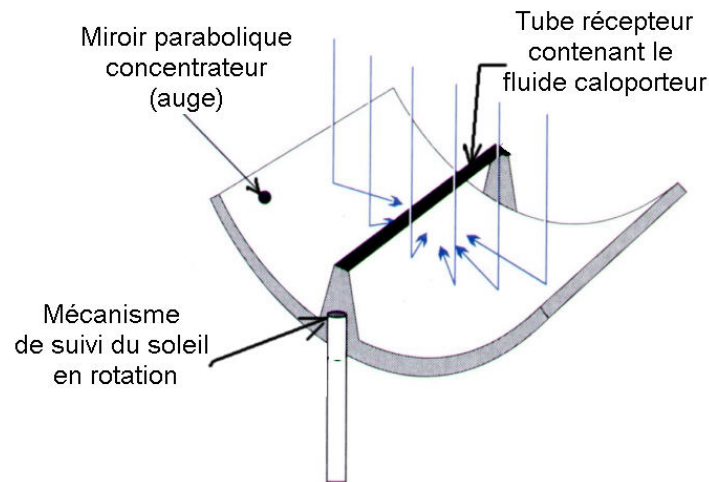
Solutions : hybridation avec brûleur gaz

Stockage de la chaleur (jusqu'à qq 10 h)



Electricité thermodynamique solaire :

Usines à auge (miroirs cylindro-paraboliques)



Kramer Junction Power en Californie (désert du Mojave)

(9 usines de 14 à 80 MW, 354 MW cumulés)

Miroirs 100 m x 6 m. 80 MW = 480 000 m² de miroirs

Vapeur à 370°C – 100 bars Rendement 20%



Bernard MULTON



Production photovoltaïque (raccordée au réseau)

(Voir détails dans diaporama n°3)

Toits solaires :

Programmes incitatifs :

Allemagne, dès 1990

Japon, dès 1994 :

70 000 toits solaires pour 2000

USA : 1 million solar roofs (MSR) pour 2010

Plus de 3 GW raccordés au réseau fin 2005



Wagner & Co / www.estif.org

Centrales de grande puissance :

Exemples

Hemau (Bavière) déc. 2002

4 MW (4,6 €/W_c)



www.martin-bucher.de/



Bernard MULTON



Production éolienne :

(Voir détails dans diaporama n°2)

- Plus de 94 GW installés fin 2007, croissance + 27% par rapport à 2006
En fort développement
- Très fort potentiel, encore peu exploité en off-shore
- Très faible impact environnemental
- Source très fluctuante, problèmes stabilité réseau...



Eolienne Jeumont J48, ferme de Plougras (Bretagne)



Production houlomotrice :

- du « vent concentré »
- encore marginal

Puissance incidente en watts
par mètre de front de vague

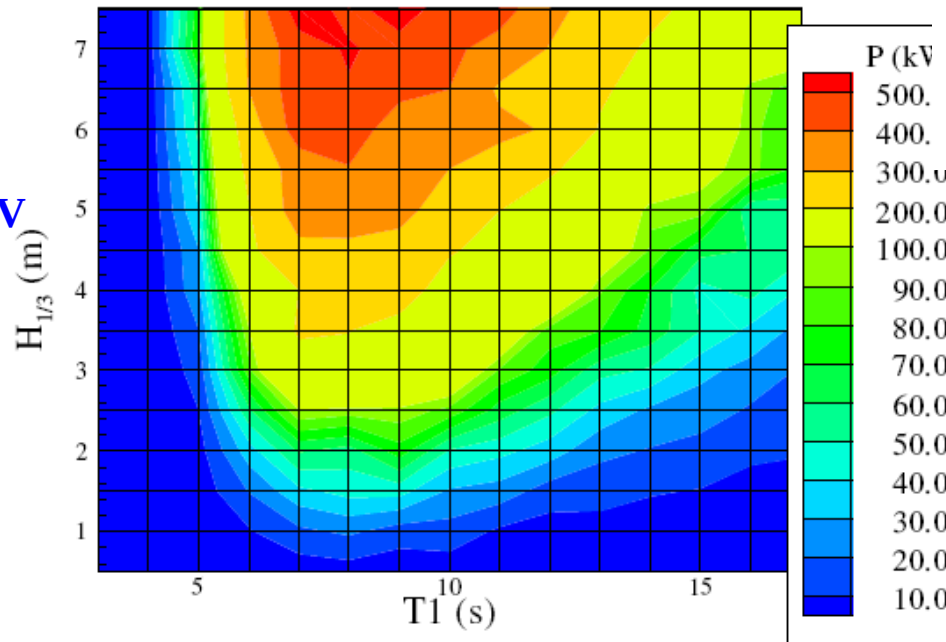
$$P_w \cong \frac{\rho \cdot g^2}{32 \cdot \pi} \cdot H_s^2 \cdot T$$

(houle monochromatique)

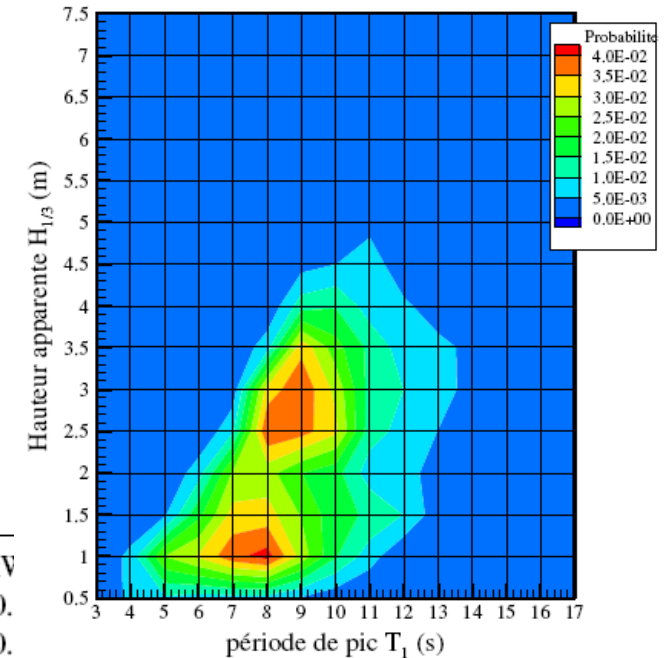
Expression x 0,42
en houle aléatoire :

$$H_s = 2 \text{ m} \quad T = 9 \text{ s} \quad P_w = 15 \text{ kW/m}$$

Exemple :
Simulation
système SEAREV
(EC Nantes)



Caractérisation de la ressource Exemple Ile d'Yeu sur 1 an



Thèse A. BABARIT, EC Nantes 2005

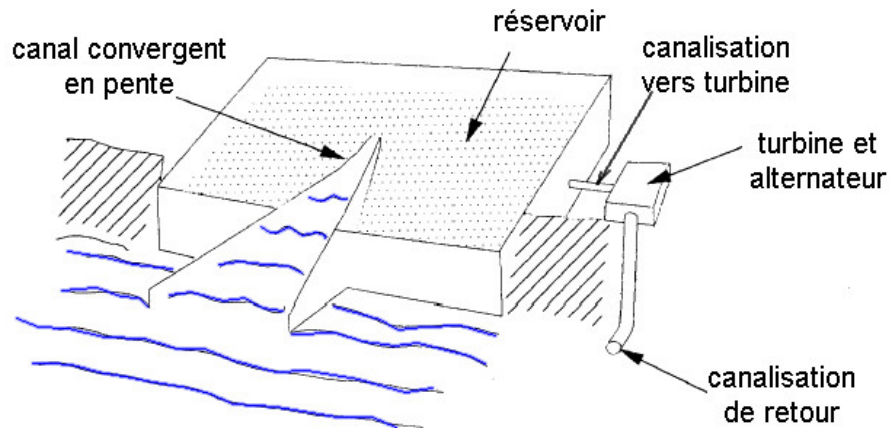


Bernard MULTON

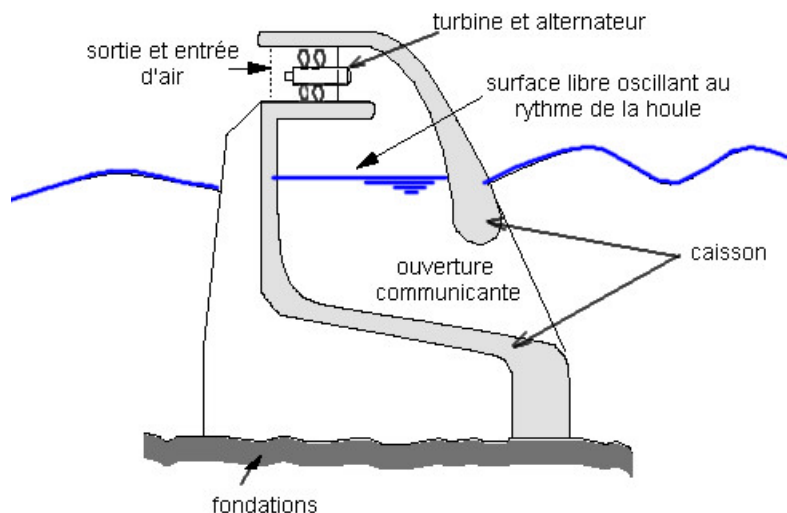


Puissance de la houle : qq kW/front de vague

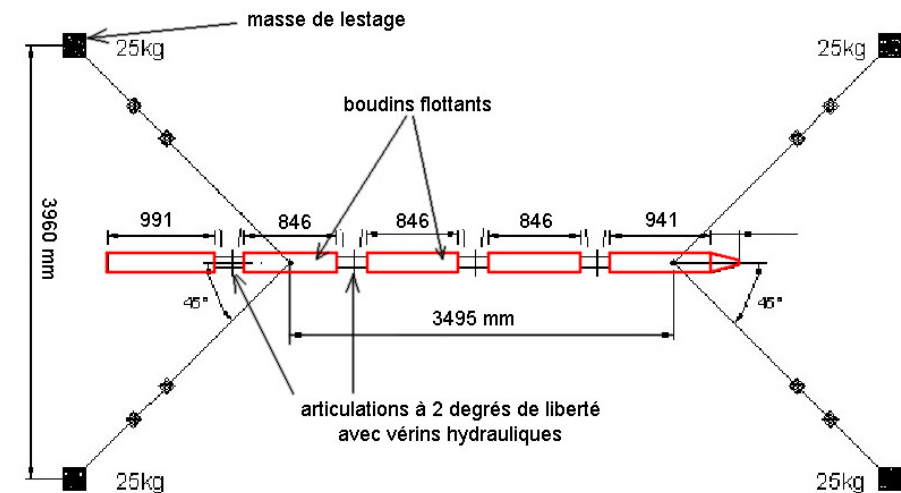
nombreuses voies :



Système à déferlement



Colonne oscillante



Boudins flottants

(Pelamis)

Système à vérin hydraulique
accumulation sous pression,
permet un stockage et
un lissage de la production d'électricité

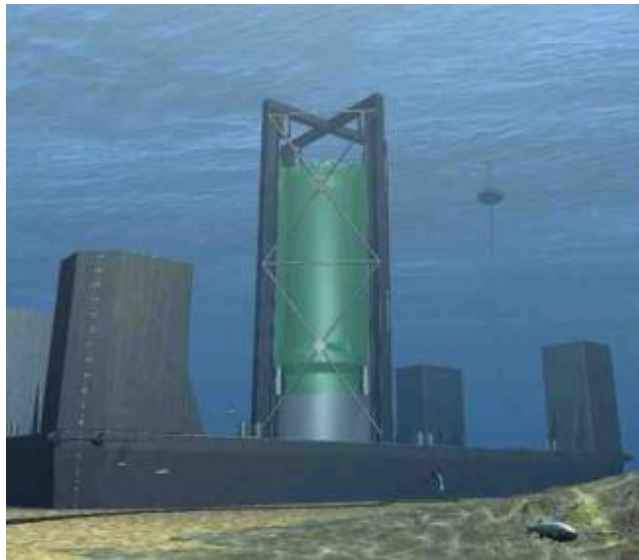


Bernard MULTON



nombreux systèmes houlogénérateurs dans le monde,
quelques grands projets
plus ou moins proches de la maturité industrielle

Système à flotteur immergé : projet AWS (Archimede Wave Swing)

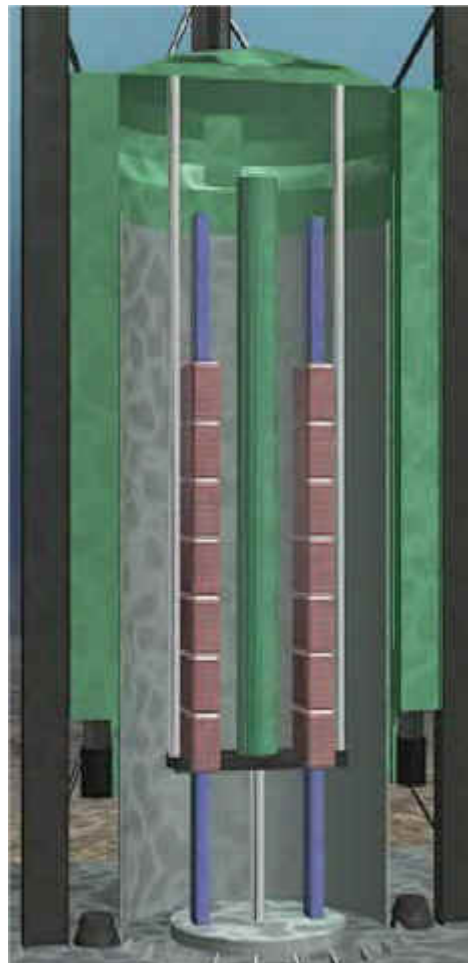


À 8 m sous la surface, un flotteur
de 21 m de hauteur et 9,5 m de diamètre
actionne un piston

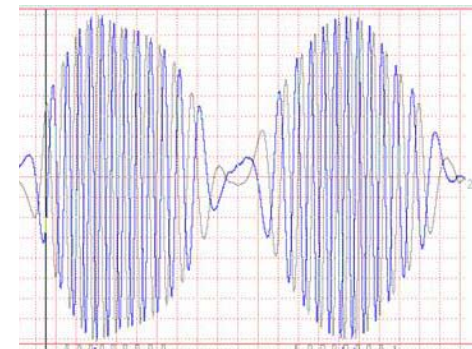
2 MW

<http://www.waveswing.com>

Générateur linéaire direct



Production électrique

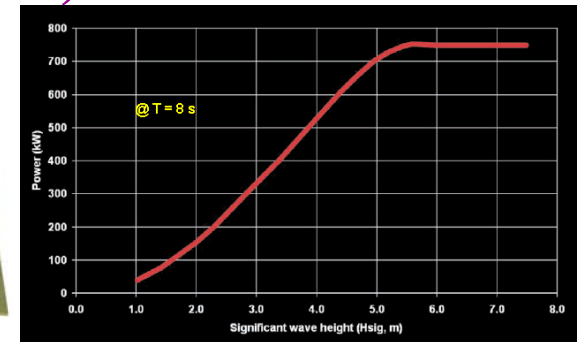
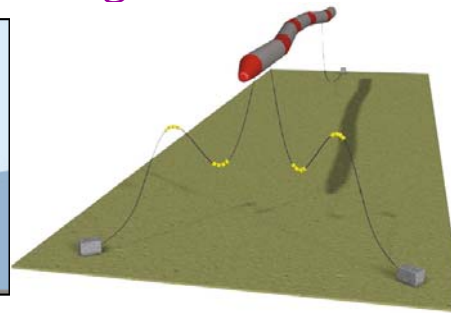
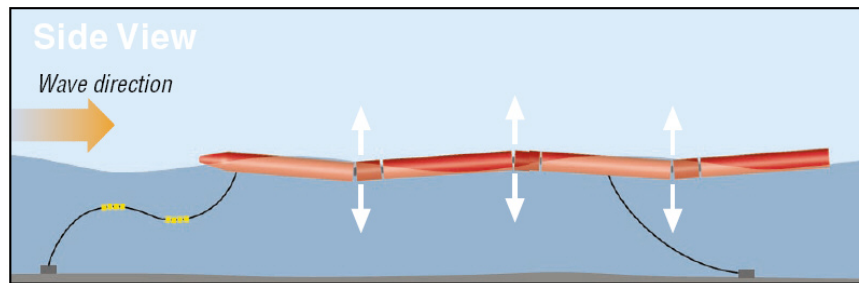


Bernard MULTON

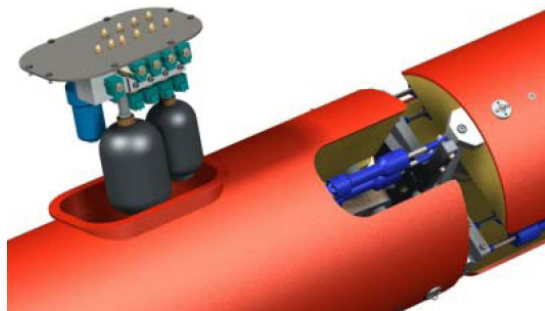


Système Pelamis (Ocean Power Delivery)

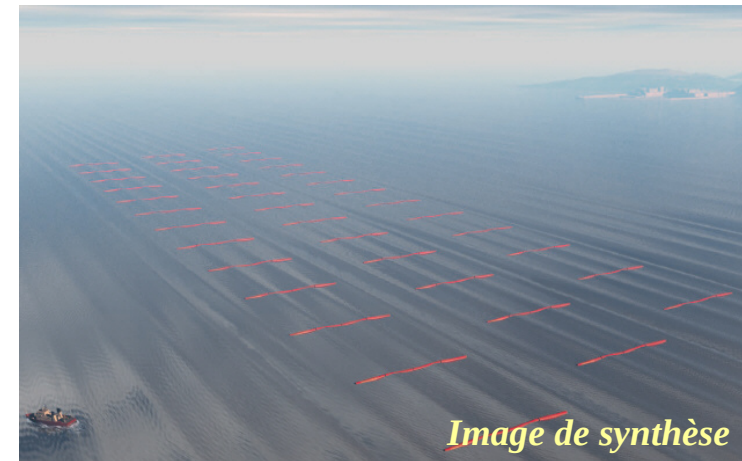
dispositif 750 kW – 2,7 GWh pour une houle de 55 kW/m (équivalent 3600 heures annuelles)
(ensemble de 4 boudins diamètre 3,5 m, longueur totale 150 m)



Vérins hydrauliques + stockage sous pression + moteurs hydrauliques + générateurs asynchrones



www.oceanpd.com



« Wavefarm »
30 MW – 1,3 km² (2,1 x 0,6 km)



Energie des marées et des courants marins :

- Peu de sites favorables

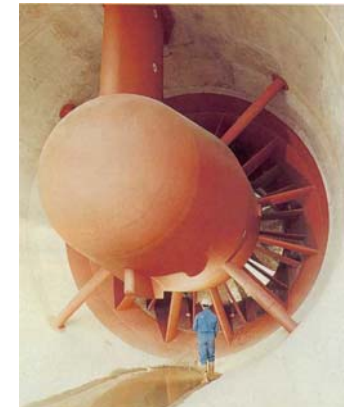
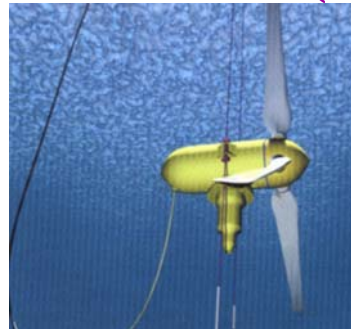
Exemple :
La Rance (1966)
très rentable



240 MW (24 groupes de 10 MW)
540 10⁶ kWh/an

- Récemment : projets d'exploitation
des courants marins (estuaires, fjords...)

Exemple : projet Hammerfest Ström AS (Norvège)
15 000 turbines de 800 kW



Bernard MULTON



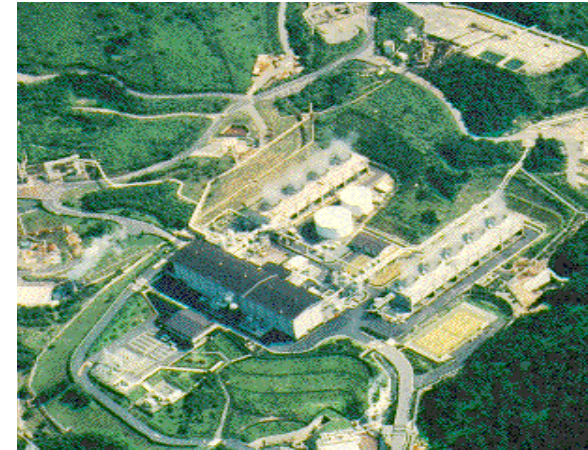
Géothermie haute température :

(Temp. d'eau 150 à 350°C)

- Une énergie bon marché pour des sites privilégiés
- 8,6 GW installés en 2001 (50 TWh)
(12 GW en 2010)

Exemples :

- japonais : Hatchobaru 300 MW
- Guadeloupe : Bouillante 5 MW
(20 MW en 2005)



Bernard MULTON

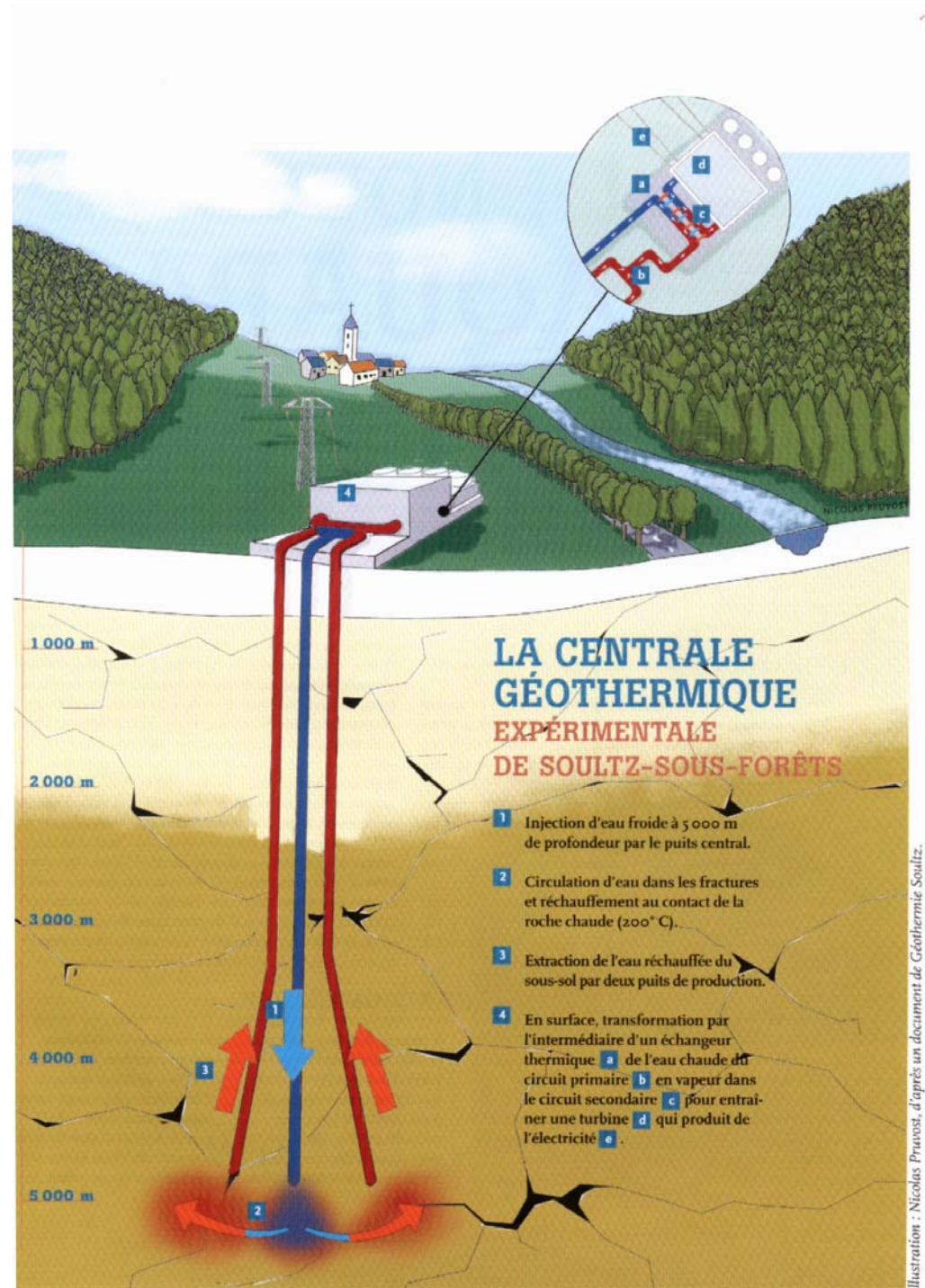


Géothermie Roches Sèches

Expérience de Soultz :

Possibilité d'accroître le nombre de sites exploitables en injectant de l'eau et en la récupérant réchauffée.

Source :
Systèmes Solaire mars 2003





Amélioration du bilan énergétique global grâce à la **COGÉNÉRATION**

Production thermique-électrique à partir des combustibles :

- Fossiles (surtout le gaz)
- nucléaires
- biomasse
- déchets ménagers
- hydrogène

en 2000

Pays	Électricité cogénérée (GWh)	Part de la production totale (%)
Union Européenne-15	258 763	10,0 (18% visé en 2010)
Canada	env. 38 900	7,0
États-Unis	304 000	8,0
Brésil (voir WADE, 2003)	10 000	3,0

Source: Compilation de plusieurs sources par l'auteur
IEPF Fiche Technique Prisme Cogénération

plus de 900 TWh

En France, en 2004, environ **5 GW_e** installés en cogénération,
pour une production énergétique **5,1%** de la production d'électricité nationale
(9% : moyenne européenne, 56% au Danemark et 43% aux Pays Bas),
sur une puissance installée totale de 116 GW dont un total cumulé
de 27 GW thermiques «classique » (63,3 GW nucléaires et 25,4 GW hydrauliques)



Bernard MULTON



COGÉNÉRATION

Technologie	Puissance	Rendement
Turbines à vapeur	Biomasse : jusqu'à 5 MW	> 0,85
	Fossiles : jusqu'à des centaines de MW	
Turbines à combustion	500 kW-300 MW	0,6-0,8
	20 kW-1 MW (en développement)	0,5-0,7
Moteurs à combustion interne (gaz, diesel)	2,5 kW-6100 kW (gaz)	0,8-0,9
	5 kW-1700 kW (diesel)	
Moteurs à combustion externe	1-15 kW	0,5-0,7
	50 kW (en développement)	

IEPF fiche technique Prisme Cogénération

Définitions Micro à grande cogénération

en kW

Pays	Micro	Mini	Petite	Moyenne	Grande
Autriche	< 50	–	50-200	200-700	> 700
Belgique	1-10	10-100	100-500	–	> 500
France	< 36	36-215	215-1000	–	> 1000

IEPF Fiche Technique Prisme Cogénération

Exemples micro-cogénération

(en dehors des moteurs à combustion interne)

Microturbine à gaz

Exemple : Capstone

30 kW_e
(η_e 26%)



Stirling

Exemple : Whisper Tech

1,2 kW_e
(η_e 14%)
8 kW_{th}



Pile à combustible PEM au gaz

Exemple : Vaillant GmbH

2,5 à 4,5 kW_e
5,6 à 9,1 kW_{th}





Rejets de gaz à effet de serre

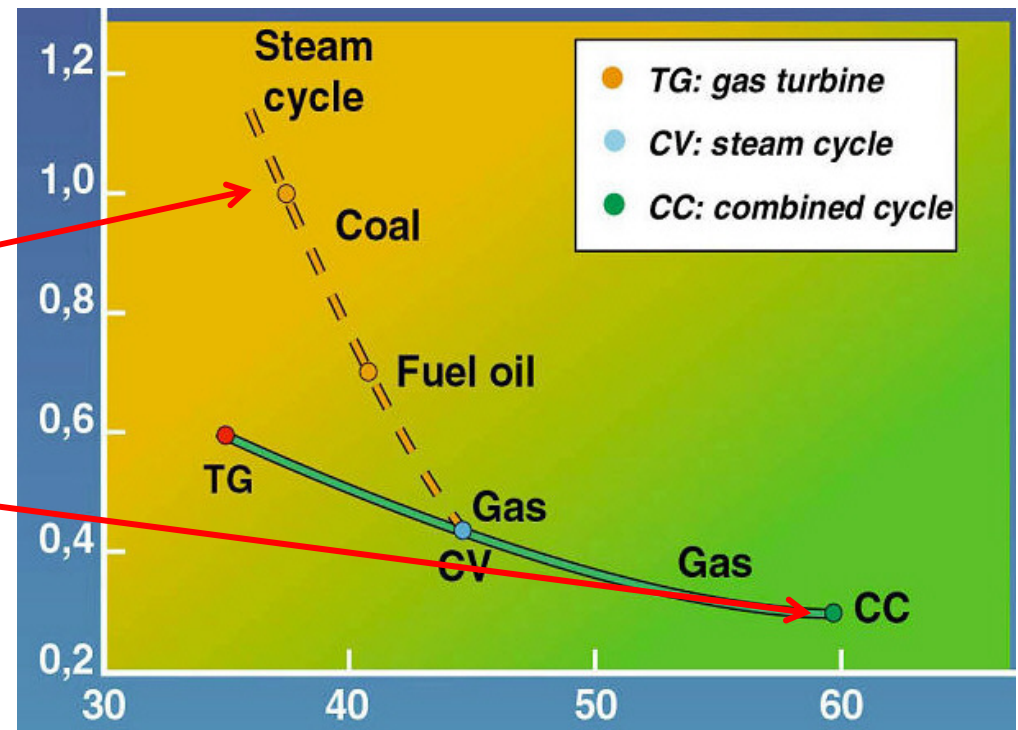
La combustion de 1 kg de carbone dégage 3,6 kg de CO₂

Émission en kg CO₂ en fonction
du rendement de conversion pour 1 kWh_e produit

Pour produire 1 kWh électrique
20 litres d'eau chaude (+40°C)

- charbon_{vapeur} : 1 kg de CO₂

- gaz_{cycle combiné} : 0,36 kg de CO₂



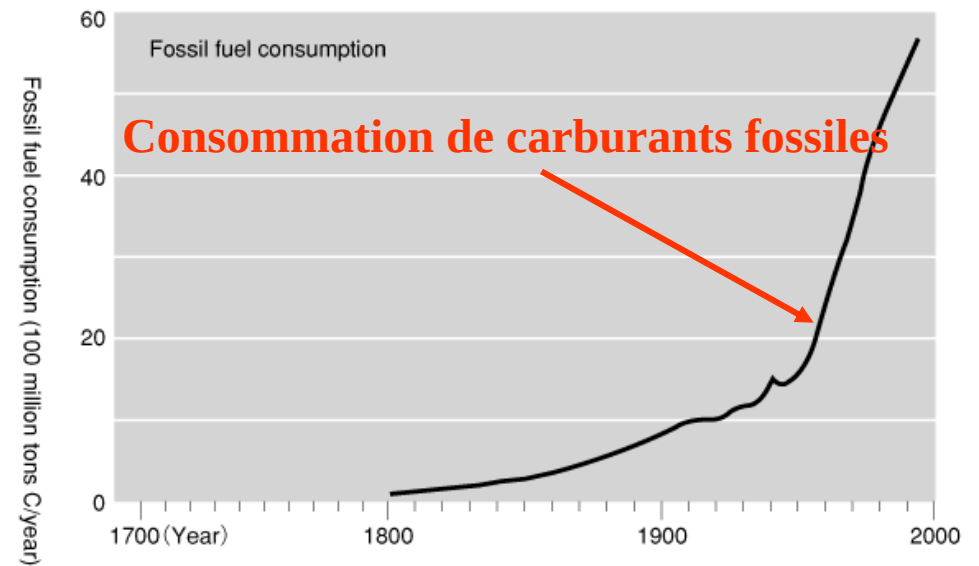
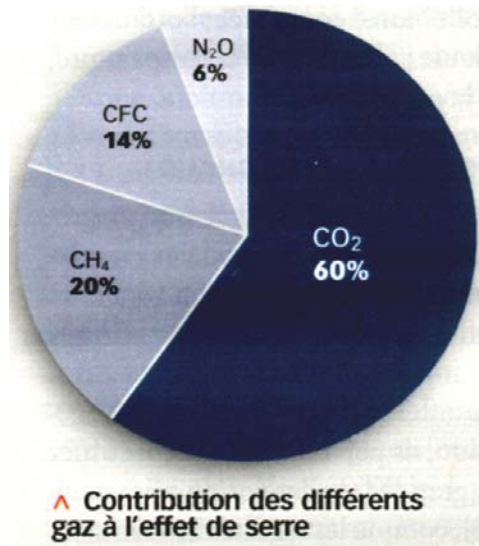
Source : IFP

Pour parcourir 10 000 km en voiture :
2 tonnes de CO₂ (200 g /kg)
(Prius : 1 tonne CO₂, 100 g/km)

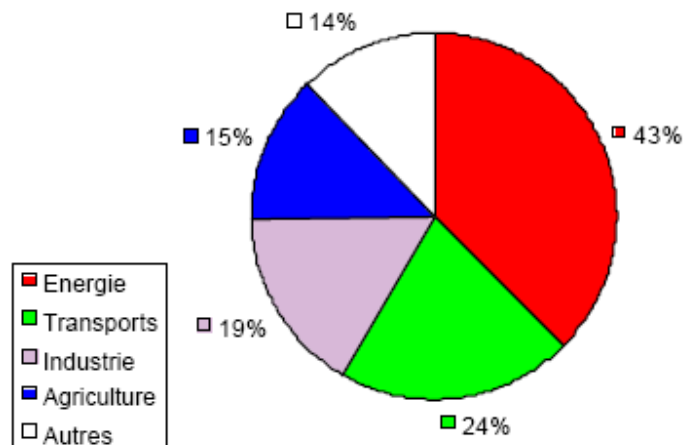
Moteur essence : 2,37 kg CO₂/litre
Moteur diesel : 2,64 kg CO₂/litre



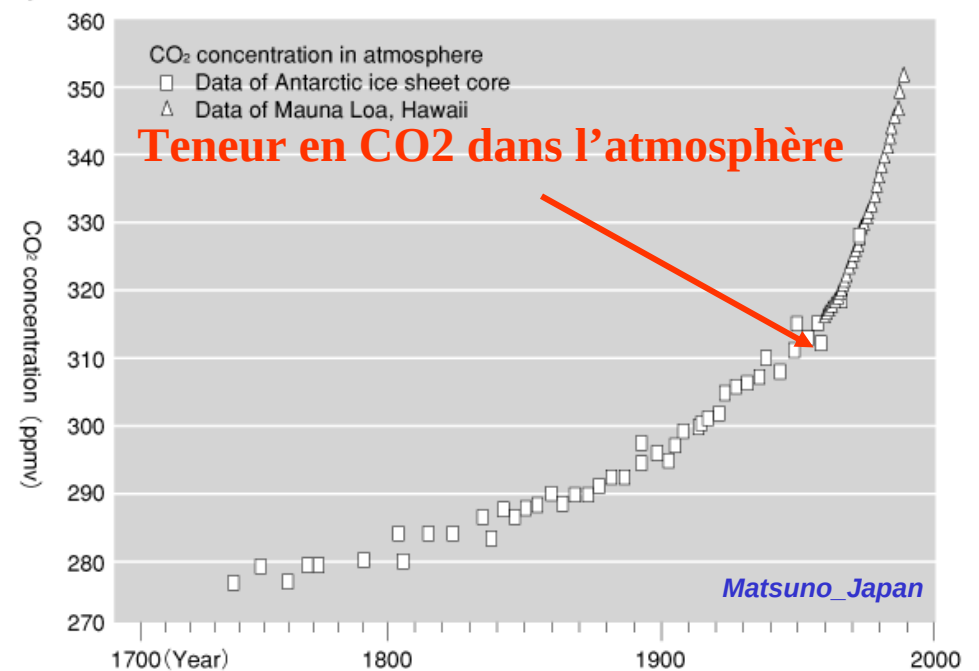
Rejets de gaz à effet de serre



Origine des rejets de CO₂

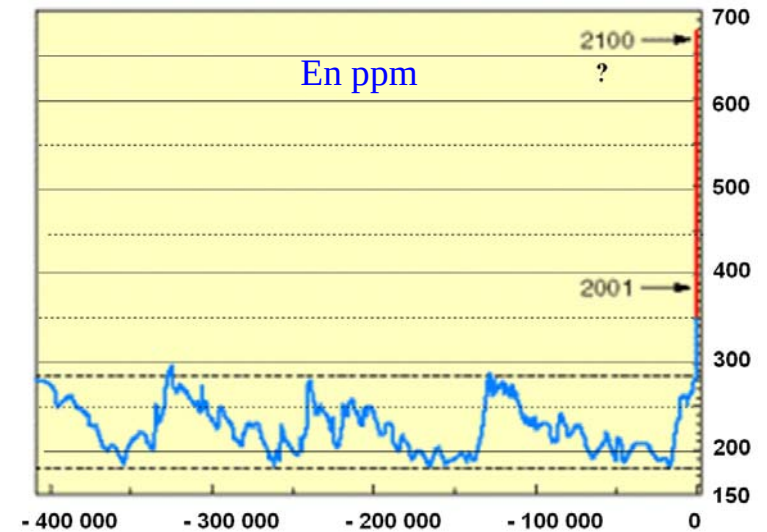


Source : Agence Intern. Energie 1998

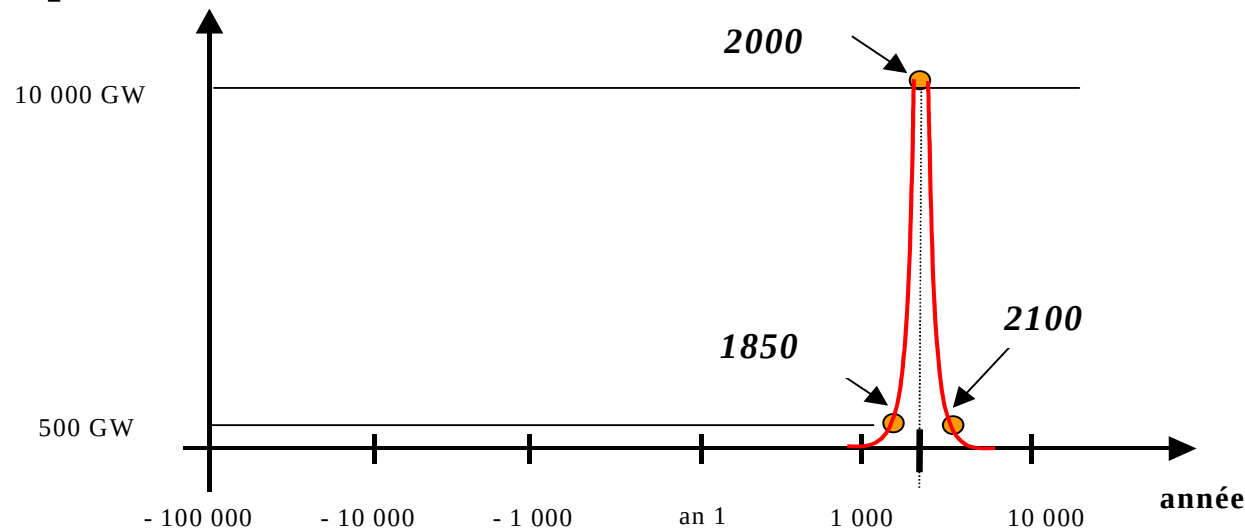




Dans le passé la concentration de CO₂ a déjà varié, mais aujourd'hui, elle dépasse l'amplitude des cycles des 400 000 dernières années...



En à peine plus de 200 ans, nous aurons rejeté dans l'atmosphère le carbone que la nature avait mis 600 millions d'années à piéger...



Comment la nature pourrait-elle réguler une aussi violente perturbation ??

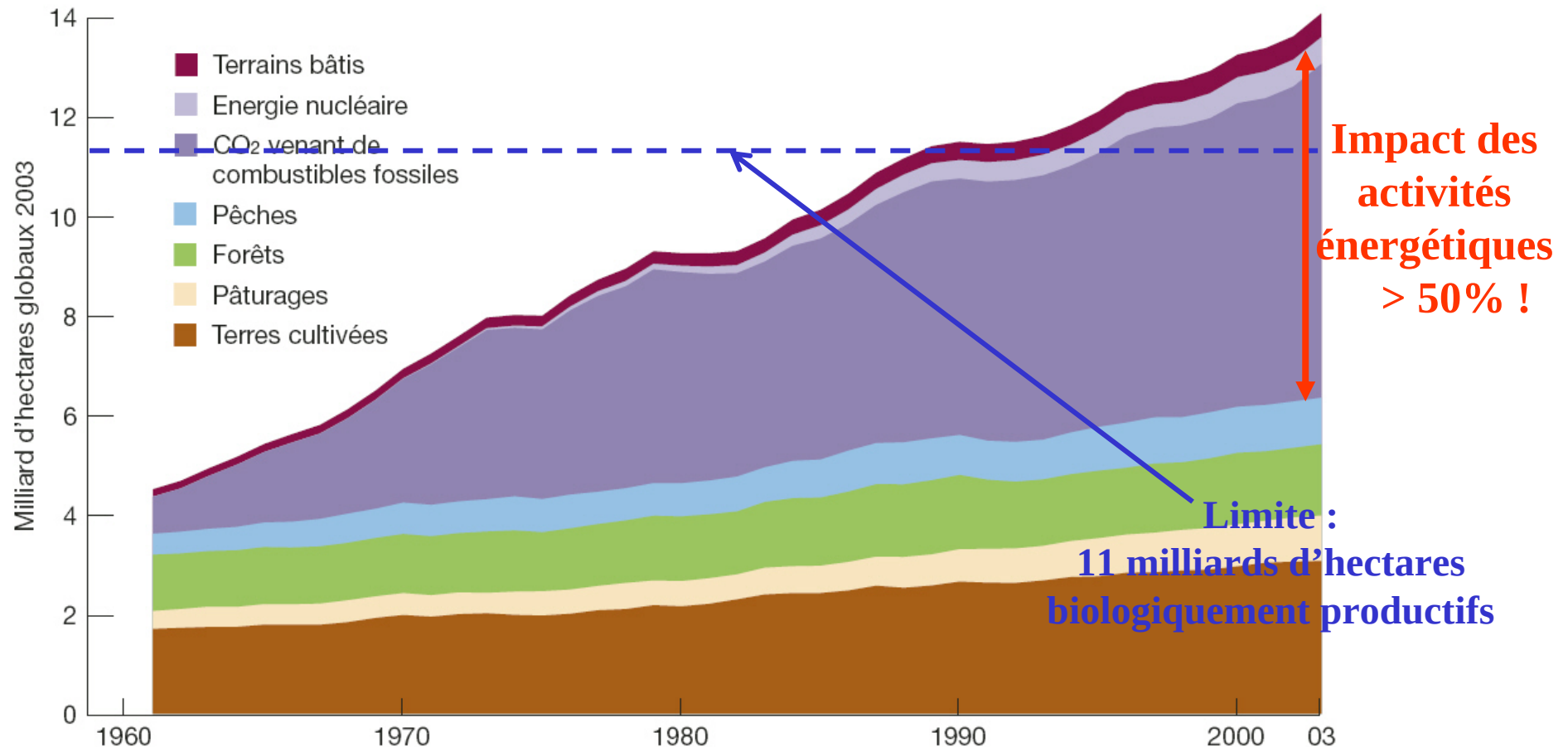
SOURCE : « métaphore de l'allumette »,

P. CREOLA, « Space and the Fate of Humanity », Symp. Space of service to Humanity, 5-7 feb. 96, Strasbourg., pp.3-14.



Les activités énergétiques sont parmi les plus coûteuses pour l'environnement

Empreinte écologique de l'ensemble des activités humaines



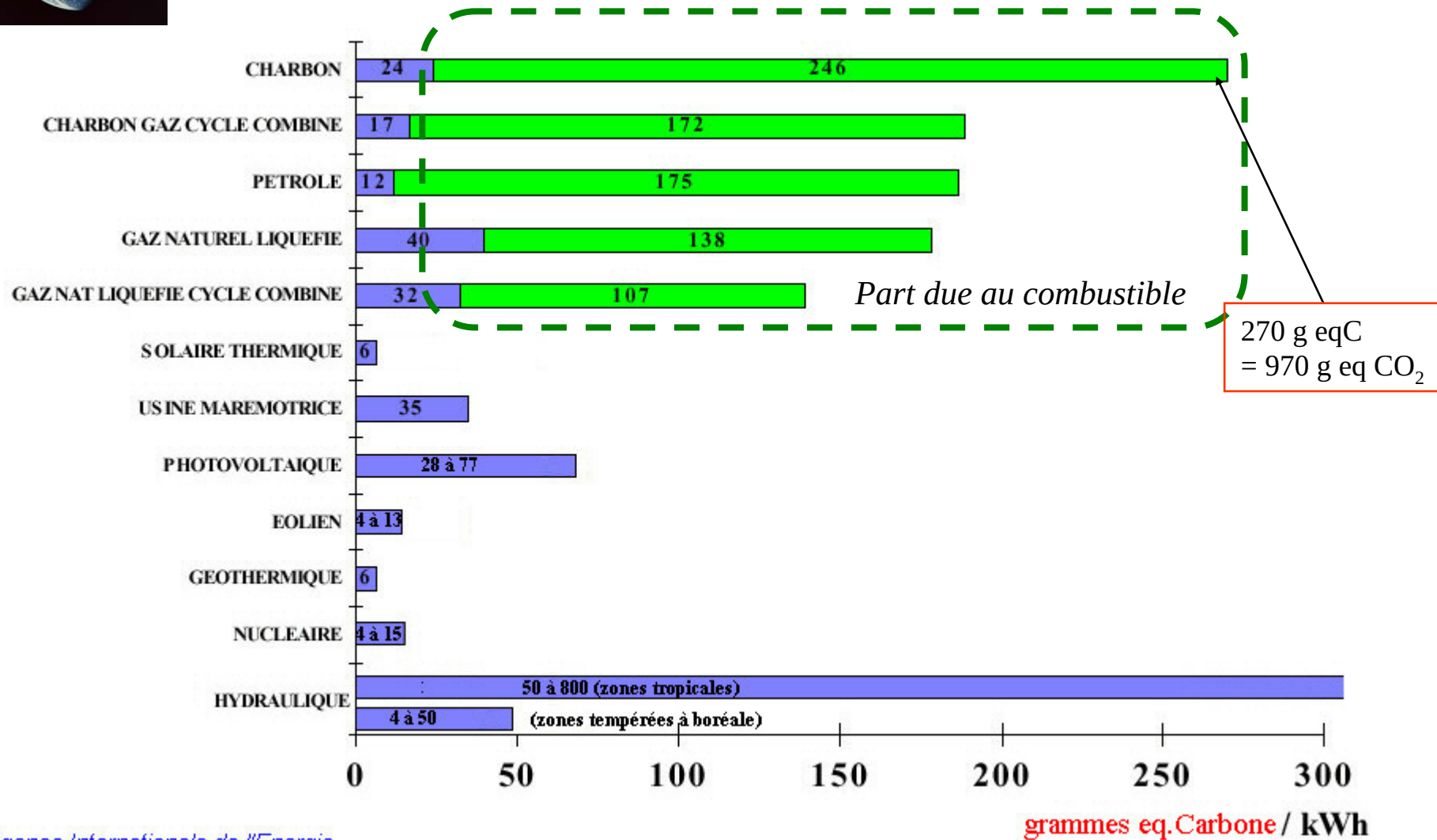
LIVING PLANET REPORT 2006



Bernard MULTON



Rejets de carbone dus la production d'électricité investissement énergétique compris + combustible éventuel



Agence Internationale de l'Energie
+ corrections récentes

(La combustion de 1 kg de carbone dégage 3,6 kg de CO₂)

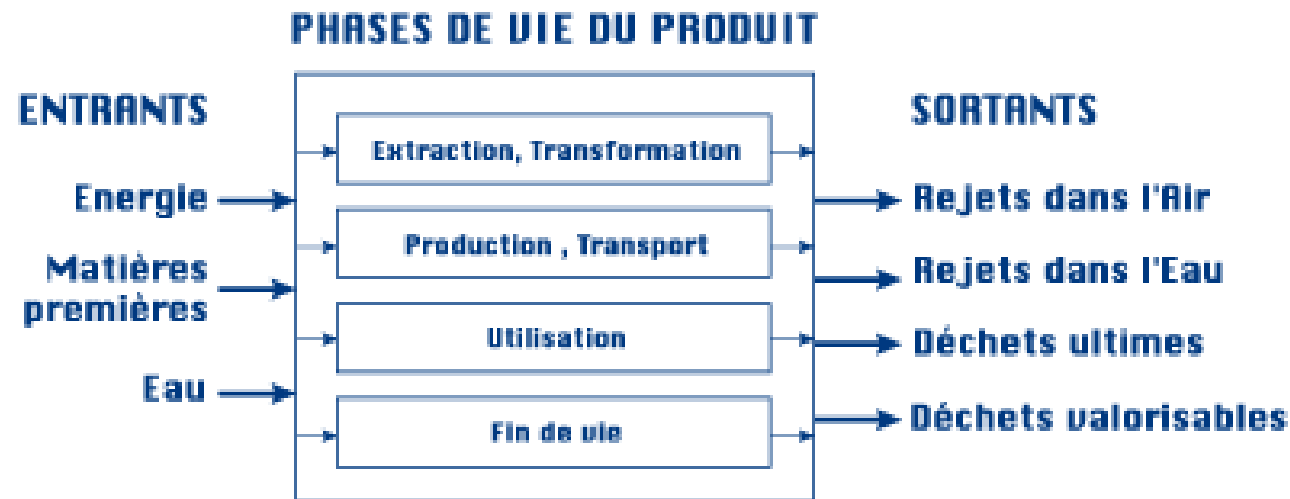


L'ACV Analyse du Cycle de Vie (LCA Life Cycle Assessment)

Une méthode à développer, enseigner...

un réflexe à acquérir

ACV = évaluation de l'impact d'un produit sur l'environnement
de l'extraction de matières premières jusqu'à son élimination ou recyclage



Eco-conception : une série de normes ISO 14040, des bases de données, des logiciels...



Bibliographie

1/2

1- Rapports

- [CEE_LivreBlanc] Commission Européenne « Énergie pour l'avenir : les sources d'énergie renouvelables. Livre blanc établissant une stratégie et un plan d'action communautaires », 1998.
- [CEE_Dir2000] Proposition de directive du parlement européen et du conseil « relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables sur le marché intérieur de l'électricité », 2000.
- [IEA] International Energy Agency, « World Energy Outlook 2006 ».
- [Obser] EurObserv'ER, « baromètres » dans les revues Systèmes Solaires.
- [RTE_06] Réseau de Transport d'Electricité (RTE), « Energie électrique en France 2006 », brochure du Centre d'Information du Réseau Electrique Français.

2- Articles et ouvrages

- [Ban_97] M. BANAL, « L'énergie marémotrice », REE n°8, sept.97, pp.6-7.
- [Bas_00] P. BASTARD, D. FARGUE, P. LAURIER, B. MATHIEU, M. NICOLAS, P. ROOS, « Electricité. Voyage au cœur du système », Eyrolles 2000.
- [Ber_TI01] J. BERGOUNOUS, « Le secteur électrique : du monopole à la concurrence », Techniques de l'Ingénieur, D4007, novembre 2001.
- [Bond_89] B. BONDUELLE, B. IVOIRE, A. FERRIERE, « La centrale expérimentale Thémis : bilan et perspectives », Revue de Phys. Appl., avril 1989, pp.453-461.
- [Chab_EU97] B. CHABOT, « Énergies renouvelables » Encyclopaedia Universalis 1997.
- [CEA_00] P. CIAIS, J. JOUZEL, H. LE TREUT, « Le climat, variabilités et évolution future », petits déjeuner de presse CEA, 8 novembre 2000.
- [CEA_01] « Les trois voies de l'énergie solaire », Clefs CEA n°44, hiver 2000/2001.
- [Clé_02] A. CLÉMENT et al. « Wave energy in Europe : current status and perspectives », Renewable and Sustainable Energy Reviews, Pergamon, 6 (2002), pp.405-431.
- [Fin_97] D. FINON, « La concurrence dans les industries électriques : l'efficacité au prix de la complexité transactionnelle et réglementaire ? », Cahier de Recherche n°12 de l'Institut d'Economie et de Politique de l'Energie, mars 1997.
- [Hau_00] E. HAU, Wind-Turbines, Springer, 2000.
- [Kap_99] R. KAPLISCH, « Le défi de l'énergie au 21ème siècle », Conférence donnée au CERN le 9 février 1999. Résumé, commentaire et analyse par Y. RENAUD.
- [Laher_00] J. LAHERRÈRE, « Vers un Déclin de la Production Pétrolière », colloque Energie et développement durable, 11 octobre 2000.
- [Man_01] B. MANOHA, « WEC Committee on the performance of the generating plant. Work Group Renewable Energy », BEA Workshop London, nov. 2001.
- [Mar_97] J. MARTIN, « Energies éoliennes », Techniques de l'Ingénieur, Traités Energétique B8585, 1-1997, 22p.
- [May_02] D. MAYER, F.P. NEIRAC, « La production répartie d'électricité : techniques et perspectives dans le contexte européen », GEVIQ'2002, Marseille 2002, pp.48-54.
- [Mul_02] B. MULTON, O. GERGAUD, H. BEN AHMED, X. ROBOAM, S. ASTIER, B. DAKYO, C. NIKITA, « Etat de l'art des aérogénérateurs », Ouvrage collectif « L'électronique de puissance vecteur d'optimisation pour les énergies renouvelables », Ed. NOVELECT – ECRIN, mai 2002, pp.97-154.
- [Mul_03a] B. MULTON, « Production d'électricité par des sources renouvelables », Techniques de l'Ingénieur, Traités de Génie Electrique, D4005/6, mai 2003, 11p.
- [Mul_03b] B. MULTON, O. GERGAUD, G. ROBIN, H. BEN AHMED, « Ressources énergétiques et consommation humaine d'énergie », Techniques de l'Ingénieur, Traités de Génie Electrique, D3900, novembre 2003, 14p.
- [Sab_06] JC SABONNADIÈRE (sous la direction de), « Les Nouvelles Technologies de l' Energie », Hermès Publishing, 2006.



Bibliographie

2/2

3- Sites internet

[Web_AWS] serveur internet de la société AWS (Archimed Wave System) <http://www.waveswing.com/>
[Web_CEA] serveur internet du Commissariat à l'Energie Atomique, <http://www.cea.fr>.
[Web_DGEMP] Site internet de la Direction de l'Energie et des Matières Premières, du Ministère de l'Industrie Français, <http://www.industrie.gouv.fr/energie>
[Web_EIA] site internet de l'Energy Information Administration du DOE (Departement of Energy) du gouvernement US, <http://www.eia.doe.gov/>.
[Web_FrNuc] Site internet d'informations très complètes sur la situation nucléaire française, www.francenuc.org
[Web_géoth] site web sur la géothermie, <http://www.crest.org/geothermal/index.html>
[Web_IEA] site internet de l'International Energy Agency, <http://www.iea.org>
[Web_IFP] site internet de l'Institut Français du Pétrole, <http://www.ifp.fr>
[Web_jamstec] site web du Jamstec (énergie des vagues), <http://www.jamstec.go.jp/jamstec/MTD/Whale/>
[Web_LANL] Site internet du Los Alamos National Laboratory, USA, http://tritium.lanl.gov/energy_ressources.html.
[Web_tidal] entreprise norvégienne de turbines (ou « éoliennes) sous-marines exploitant les courants marins, <http://www.tidevannsennergi.com/>
[Web_wave] site web danois sur l'énergie des vagues, <http://www.waveenergy.dk/>
[Web_WEC] Site internet du Conseil Mondial de l'Energie, <http://www.worldenergy.org/>

4- Organismes d'information sur les questions énergétiques et électriques

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) : <http://www.ademe.fr>
Agence Internationale de l'Energie (International Energy Agency) : <http://www.iea.org>
Conseil Mondial de l'Energie (World Energy Council) : <http://www.worldenergy.org/wec-geis/>
Electricité de France (EDF) : <http://www.edf.fr/>
Energy Information Administration (Département de l'Energie du gouvernement US) : <http://www.eia.doe.gov/>
Réseau de Transport d'électricité (RTE) : <http://www.rte-France.com>
Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) : <http://www.cea.fr/>
Comité de liaison Energies Renouvelables (CLER) : <http://www.cler.org>
Observateur des Energies Renouvelables (Observ'ER), revues Systèmes Solaires et Renewable Energy Journal : <http://energies-renouvelables.org>
ENERGIE PLUS : <http://www.energie-plus.com/>
Institut Français du Pétrole (IFP) : <http://www.ifp.fr>
Direction Générale de l'Énergie et des Matières Premières : <http://www.industrie.gouv.fr>
Institut de l'Energie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF) : <http://www.iepf.org/>
CIELE : Centre d'Information sur l'Energie et l'Environnement : <http://www.ciele.org/>