

Derrière le hublot de la machine à laver : Quelques ordres de grandeur sur la production d'électricité en France

pour ouvrir les yeux



15/01/2011

♦ Tout d'abord quelques comparaisons

La quantité d'électricité obtenue en **un an** avec une puissance de **1000 MW** électriques, soit près de **9 TWh** ⁽⁰⁾, peut être obtenue avec un des moyens de production suivants :

- thermonucléaire : une tranche REP ⁽³⁾ ;
- photovoltaïque : 100 kilomètres carrés (rendement : 10 %, Europe centrale) ;
- éolien : 3 500 éoliennes ⁽¹⁾ de 70 mètres de diamètre, d'une hauteur comprise entre 100 et 130m (*ce qui correspond à une ferme éolienne d'une surface de 480km² soit 22kmx22km* ⁽⁴⁾) ;
- biomasse : 30 000 kilomètres carrés de forêt thermique ⁽⁵⁾ ;
- charbon : 2,3 millions de tonnes par an ;
- pétrole : 1,9 million de tonnes par an ;
- gaz (CCG) 2 : 1,4 milliard de mètres cubes par an.

⁽⁰⁾ : 1 TWh = 1 milliard de kWh.

⁽¹⁾ : fonctionnant 2 500 heures par an, pour un vent dont la vitesse moyenne est de 7 m/s.

⁽²⁾ : CCG = centrales à cycle combiné au gaz.

Source : Observatoire de l'Énergie.

⁽³⁾ **Rq. 1** : Réacteur à Eau ordinaire sous Pression. Actuellement le parc français de centrales nucléaires représente l'équivalent de 58 tranches REP.

⁽⁴⁾ **Rq. 2** : On peut estimer que, vu les dimensions, chaque éolienne doit avoir une puissance nominale de 1,5MW. Avec, entre éoliennes, 7D dans l'axe des vents dominants et 4D dans l'axe perpendiculaire, cela correspond à une densité de 11MW/km² de puissance nominale installée. Le coefficient de charge (rapport entre la puissance moyenne produite et la puissance nominale installée) est proche de 20%.

⁽⁵⁾ **Rq. 3** : c'est-à-dire en brûlant la forêt ... en prenant la précaution de la renouveler.

Rq. 4 : En 2002, le nucléaire a fourni 437TWh (puissance nominale installée de 58GW, soit un coefficient de charge de 86%) et l'hydraulique 66TWh (puissance nominale installée de 22GW, soit un coefficient de charge maximum possible de 34%) et l'éolien 0,264TWh (puissance nominale installée de 0,15GW, soit un coefficient de charge maximum possible de 20%).

- Fournir par l'éolien la même énergie que le nucléaire nécessiterait un site de 23300km², soit 152km sur 153km, ou encore la superficie de la région Midi-Pyrénées ou presque 3 fois celle de la Corse (voir ⁽⁴⁾ pour effectuer le calcul). En 2002, avec 150MW installés, cela correspond à une superficie de 14km² soit 3,5km sur 4km ;
- Fournir par le photovoltaïque la même énergie que le nucléaire nécessiterait, avec la technologie actuelle, un panneau de 4900km², soit 69km sur 70km, ou encore la superficie du département de l'Ariège ou 0,6 fois celle de la Corse ;
- Fournir par la biomasse la même énergie que le nucléaire nécessiterait 1457000km² de forêt thermique, soit 2,7 la superficie de la France ...

♦ ... un projet éolien réaliste, si nous étions en 1973 en produisant par ailleurs l'hydro-électricité d'aujourd'hui (voir page 2) :

<http://www.espace-eolien.fr/> rubrique "50 TWh/an" avec l'énergie éolienne en France (colonne de gauche)

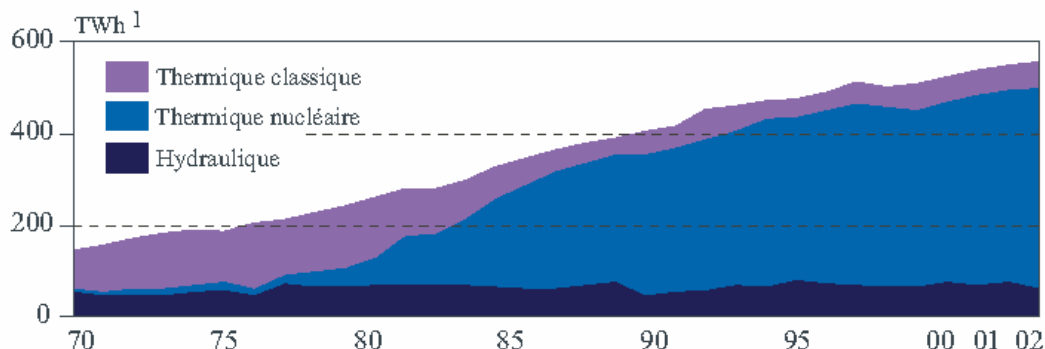
* Cliquez sur le petit vélo pour m'envoyer un email, sinon pierre.bidan@laplace.univ-tlse.fr ...



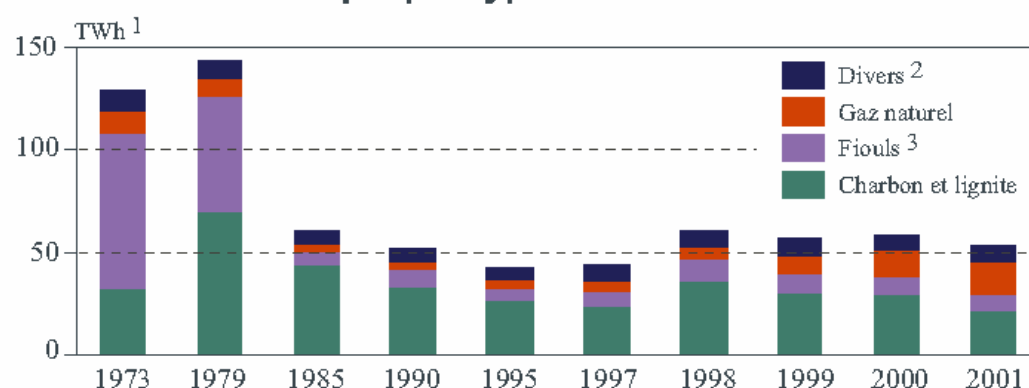
◆ ... mais d'où vient actuellement notre électricité ?

Électricité

Production brute d'électricité



Production thermique par type de combustible



Bilan simplifié de l'électricité

	1973	1979	1985	1990	1995	2000	2001	2002
Production nationale	182	241	344	420	493	541	549	559
Hydraulique	48	68	64	58	77	72	79	66
Thermique nucléaire	15	40	224	314	377	415	421	437
Thermique classique	119	134	56	48	39	53	49	56
Solde des échanges	-3	6	-23	-46	-70	-69	-68	-77
Importations	5	16	6	7	3	4	4	3
Exportations	-8	-11	-29	-52	-73	-73	-73	-80
Pompages	0	-1	-2	-5	-4	-7	-6	-7
Consommation des auxiliaires	-8	-10	-16	-20	-22	-24	-24	-24
Consommation ⁴	171	236	303	350	397	441	451	450

1 : 1 TWh = 1 milliard de kWh.

2 : Gaz de hauts-fourneaux, de raffineries, déchets ménagers, résidus industriels, bois, etc...

3 : Fioul lourd, fioul domestique et coke de pétrole.

4 : Consommation intérieure ou énergie appelée, non corrigée du climat.

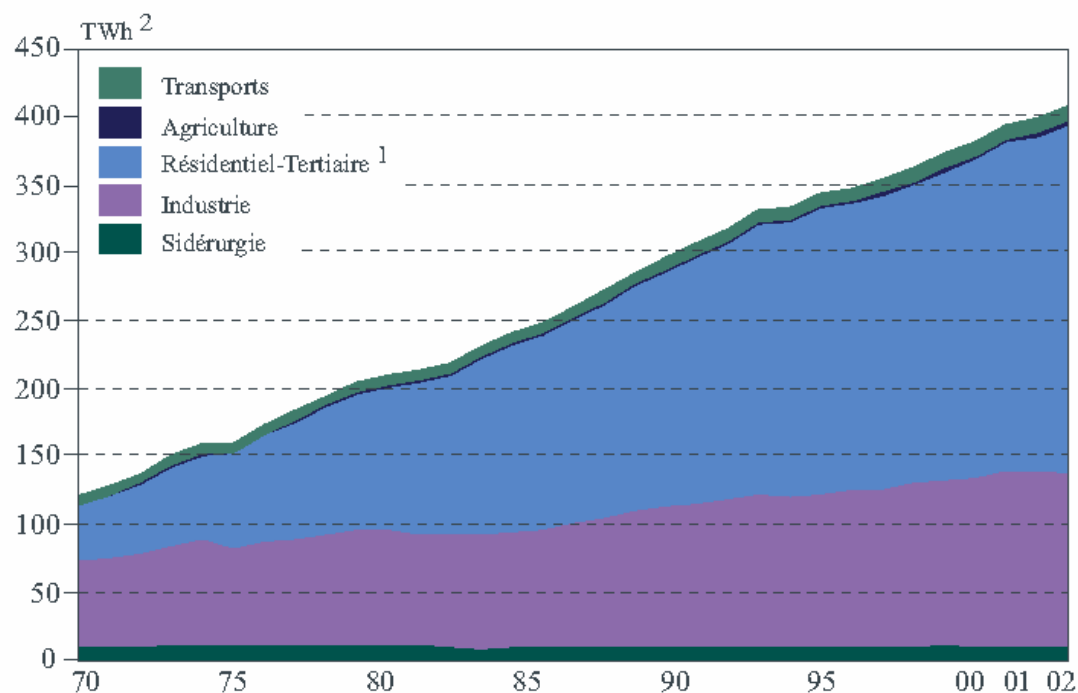
Source : Observatoire de l'Énergie.



◆ ... qu'en fait-on ?

Électricité

Consommation finale ¹ d'électricité par secteur



TWh ²	1973	1979	1985	1990	1995	2000	2001	2002
Sidérurgie	12	13	10	11	10	11	11	11
Industrie	72	83	87	105	114	127	129	127
Résidentiel-Tertiaire ¹	59	102	144	182	213	244	247	257
Agriculture	1	2	1	2	2	3	3	3
Transports	6	7	7	8	9	10	11	11
TOTAL ¹	151	206	249	308	348	395	400	408

1 : Corrigée du climat.

2 : 1 TWh – 1 milliard de kWh.

Entre 1973, année du premier choc pétrolier, et 2002, la consommation intérieure d'électricité s'est développée deux fois plus vite que l'ensemble de la consommation d'énergie et a plus que doublé au cours de la période pour atteindre 450 TWh en 2002.

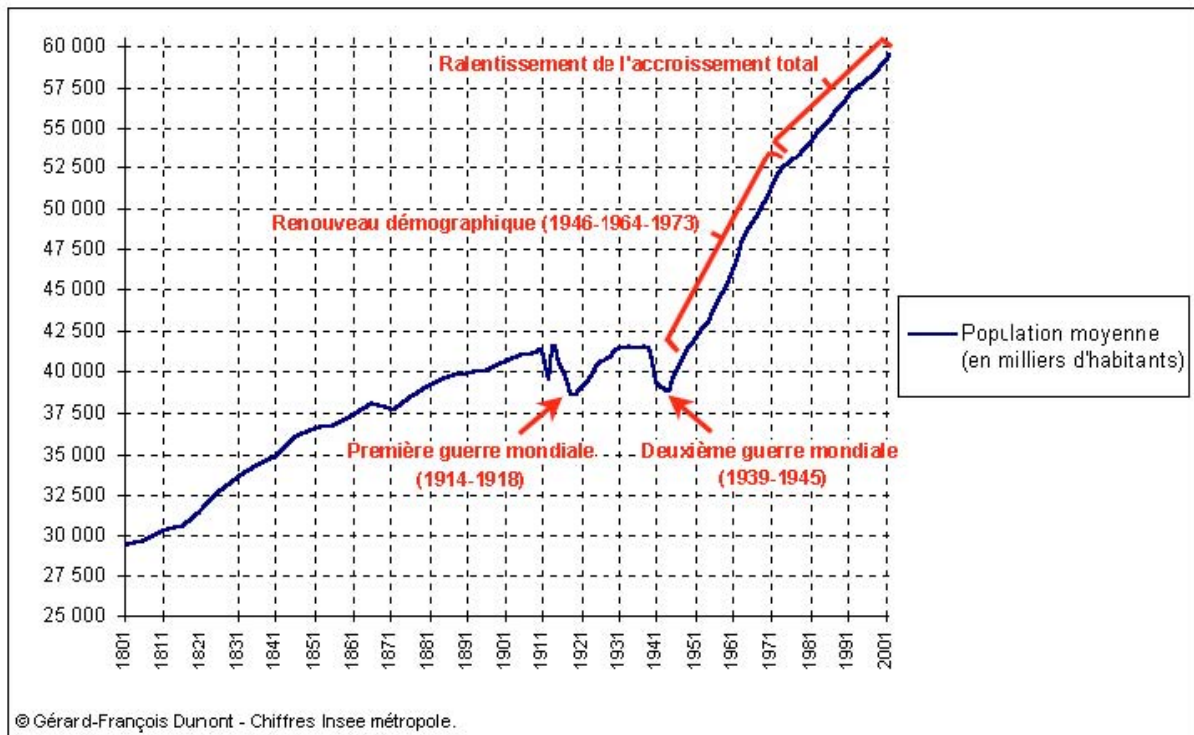
La mise en place du programme électro-nucléaire, à partir de 1974, a permis une substitution massive de l'énergie nucléaire au fioul pour la production d'électricité. La montée en puissance de la production nucléaire (de 15 TWh en 1973 à 437 TWh en 2002) s'est donc accompagnée d'une réduction de la production thermique classique. Celle-ci n'atteint que 56 TWh en 2002, soit 47 % de son niveau de 1973 et repose essentiellement sur des centrales au charbon.

Source : Observatoire de l'Énergie.



◆ ... Gaspillage !

Evolution de la population française :



En 1973 : 52 millions d'habitants En 2002 : 59 millions d'habitants. Soit une progression de 13,5 %

Dans le même temps, l'énergie électrique consommée en France passait de 171TWh/an à 450TWh/an (voir page 2), soit une progression de 163 % !

Un français consomme donc 2,3 fois plus d'électricité en 2002 qu'en 1973 Pour en faire quoi ?

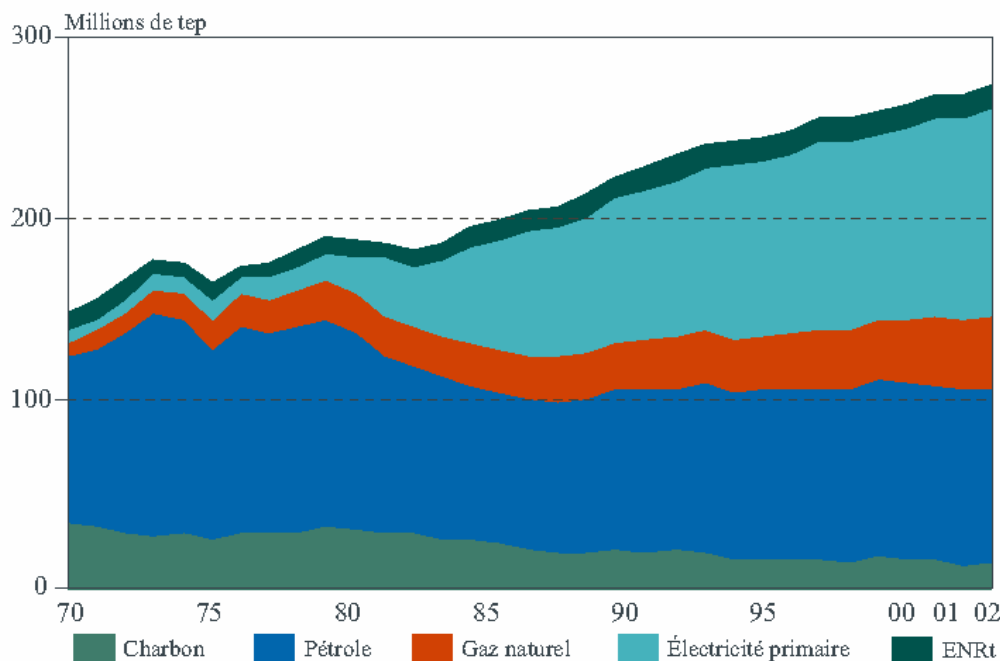
Le tableau de la page 3 est éloquent : c'est principalement dans le résidentiel-tertiaire (4,3 fois plus ! pour une proportion de 63% sur le total en 2002) et, dans une moindre mesure, dans l'industrie (1,8 fois plus, pour une proportion de 31% sur le total en 2002) que la progression est spectaculaire ! Donc, cette électricité supplémentaire nous chauffe (ou nous refroidit ...), nous éclaire, nous lave le linge et la vaisselle, nous permet de communiquer sur le web, de regarder la télé, de jouer (et parfois de travailler) avec un ordinateur ... sûrement bien mieux qu'en 1973 ! (???)



◆ ... et les autres sources d'énergie pendant ce temps ?

Ensemble des énergies

Consommation d'énergie primaire ¹ par énergie



Millions de tep

	1973	1979	1985	1990	1995	2000	2001	2002
Charbon	28	32	24	19	15	14	12	13
Pétrole	121	114	82	89	93	96	96	95
Gaz naturel	13	21	23	26	30	37	38	40
Electricité primaire	8	17	62	83	99	109	111	114
ENRt *	9	9	10	12	12	13	13	13
TOTAL	180	193	201	230	249	269	269	275
<i>dont usages non énergétiques :</i>								
CMS	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Pétrole	9,1	9,5	9,1	10,3	13,0	14,9	14,1	13,8
Gaz naturel	1,7	2,4	2,5	1,9	2,2	2,3	2,1	2,1
TOTAL	10,9	12,0	11,7	12,4	15,4	17,4	16,4	16,1

Au cours de la période 1973-2002, la structure de la consommation a fortement évolué ; la part du charbon est passée de 15 % à 4 %, celle du pétrole de 67 % à 35 %, alors que la part du gaz était multipliée par 2 (7 % à 15 %) et celle de l'électricité par 10 (4 % à 41 %) du fait de l'énergie nucléaire.

Source : Observatoire de l'Énergie.

De 1973 à 2002, notre consommation nationale totale d'énergie a augmentée de 52 %, alors que la population n'a augmenté que de 13,5% : un français de 2002 consomme 1,35 fois plus d'énergie que son homologue de 1973 ...

...La première source d'énergie renouvelable, c'est d'abord économiser, non ? ◆

* voir page [2](#).



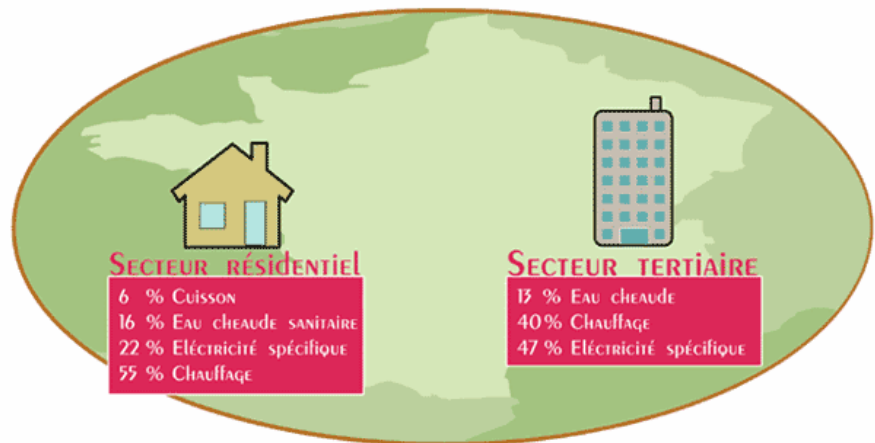
◆ **...Mais où passe vraiment l'énergie dans le résidentiel et le tertiaire ?**

- Sources CEA http://www.cea.fr/fr/pedagogie/Energie_ms/energie_pour_quoi_faire.htm :

Se chauffer, s'éclairer, téléphoner, cuisiner... le secteur "résidentiel-tertiaire" est un secteur en pleine expansion. En France, la consommation d'énergie par ce secteur a doublé ces 30 dernières années, augmentant systématiquement chaque année. On estime la consommation du **secteur résidentiel (énergie consommée par les logements particuliers)** à environ 50 Millions de Tep et celle du **secteur tertiaire (secteur comprenant toutes les activités non directement productrices de biens de consommation)** à 30 millions de Tep. Le chauffage en représente la part principale, l'eau chaude sanitaire un peu plus de 15% du résidentiel et 13% du tertiaire, la cuisson 6% du résidentiel et l'électricité spécifique (bureautique, appareils ménagers, éclairages, ...) près de la moitié du secteur tertiaire. Ce dernier poste connaît d'ailleurs la plus rapide augmentation en liaison avec le développement des appareils de bureautique et d'informatique.

En 2001, en France, le résidentiel-tertiaire représentait près de 38% de la consommation énergétique.

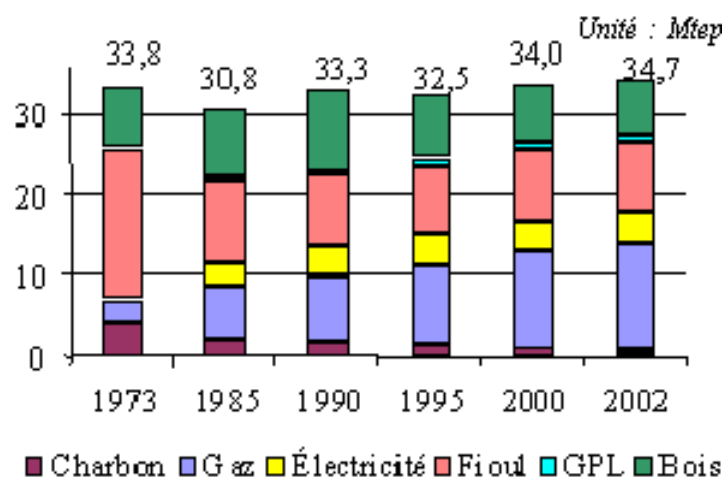
	Mtep	%
Industrie	57,9	28,8
Agriculture	3,4	1,6
Résidentiel tertiaire	100,7	46,7
Transports	53,8	24,9
Total	215,7	100



© www.cea.fr - 2003

RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE DANS LE SECTEUR RÉSIDENTIEL ET TERTIAIRE EN FRANCE

- Le chauffage dans le secteur résidentiel : parts des énergies (Observatoire de l'énergie. Octobre 2004 http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/se_stats14.htm) :





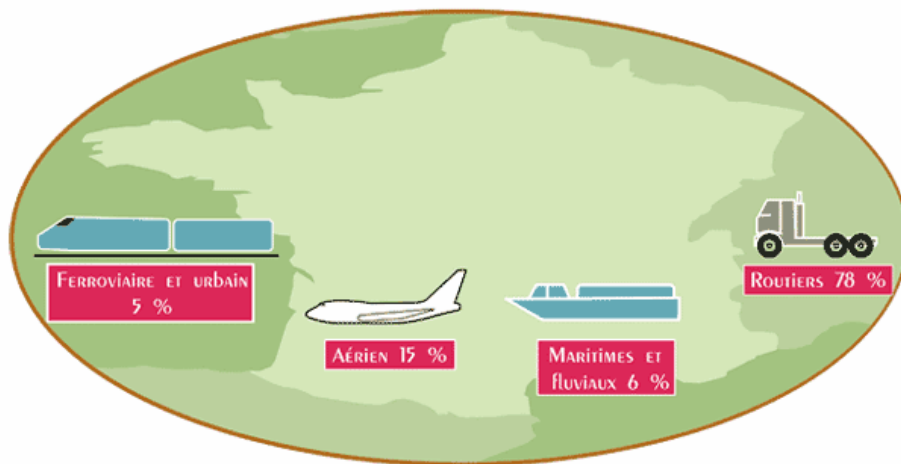
◆ et se déplacer ...

- Sources CEA http://www.cea.fr/fr/pedagogie/Energie_ms/energie_pour_quoi_faire.htm :

Bus, camions, voitures, avions, trains, ... l'homme multiplie les modes de transports et les déplacements. Le **secteur des transports représente 29% de la consommation mondiale d'énergie**.

Ces dernières années, c'est dans ce secteur que la consommation énergétique a augmenté le plus rapidement, la source d'énergie utilisée étant dans 95% des cas le pétrole. Selon les prévisions des Nations Unies, cette augmentation doit d'ailleurs se confirmer au rythme de 1,5% par an dans les pays développés et de 3,6% dans les pays en développement.

En France, la part des transports dans la consommation énergétique n'a cessé d'augmenter depuis les années 70, le parc automobile ayant augmenté de plus de 90% entre 1973 et 2000. Les produits pétroliers là aussi sont roi, puisqu'ils sont utilisés à 98% comme principale source d'énergie.

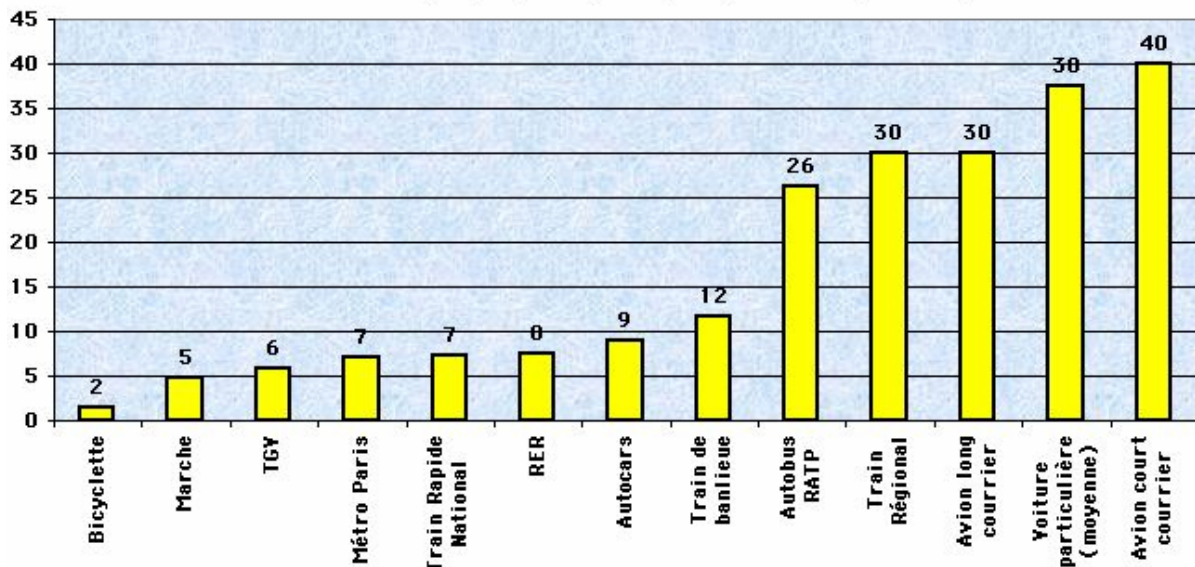


© www.cea.fr - 2003

Répartition de la consommation d'énergie par mode de transport en France

- Source <http://www.manicore.com/> :

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



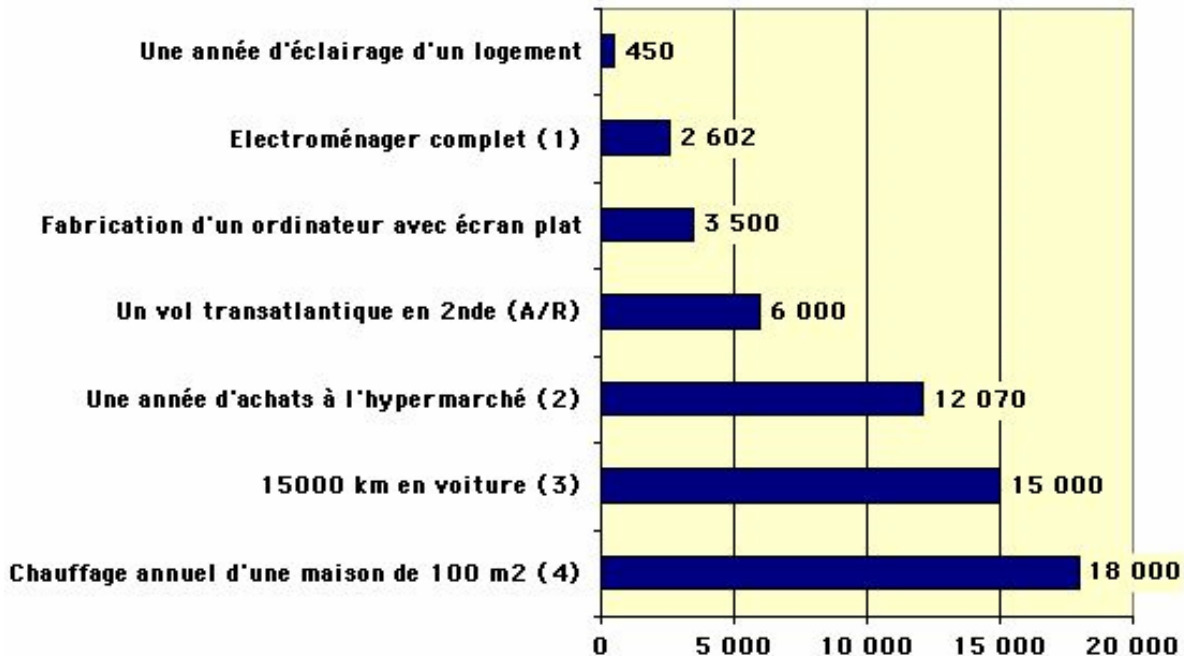
Sources : [ADEME](http://www.ademe.fr) Observatoire de l'Energie, [INRETS](http://www.inrets.fr).





◆ Nos habitudes...

• Source <http://www.manicore.com/> :



Quelques exemples de contenus énergétiques (toutes énergies confondues) en kWh.

Notes :

- (1) l'Electroménager complet signifie réfrigérateur + congélateur + lave-linge + lave-vaisselle + sèche-linge + cuisinière + électronique de loisir (TV, magnétoscope, etc). La valeur indiquée représente bien sûr la consommation annuelle de l'ensemble.
- (2) Ce montant ne concerne que l'énergie utilisée par l'agriculture et l'industrie, mais ni le chauffage du magasin, ni les transports de marchandises, ces derniers consommant à peu près un tiers des carburants routiers en France (le reste est pour les voitures, bien sûr). Il s'agit d'une valeur par personne.
- (3) pour une voiture qui consomme 8 litres aux 100 en moyenne ; 15.000 km représentent à peu près le kilométrage annuel moyen d'une voiture en France
- (4) chauffage au fioul ou au gaz + eau chaude sanitaire ; moyennes nationales. A l'électricité, la consommation d'énergie finale est 2,5 à 3 fois inférieure (données CEREN).

Sources : [Olivier Sidler](#), 1999 (éclairage et électroménager), Williams/Kluwer, 2004, adapté par Jancovici (ordinateur), Jancovici pour les autres lignes, d'après CEREN pour la dernière, et d'après ADEME pour l'avant-dernière.

... il faudrait d'abord les changer, non ? ◆



Méthodologie et définitions

- **tep** : Tonne Equivalent Pétrole. **1 tep = 42 GJ = 11,63 MWh (soit 1 MWh = 0,086 tep)**.

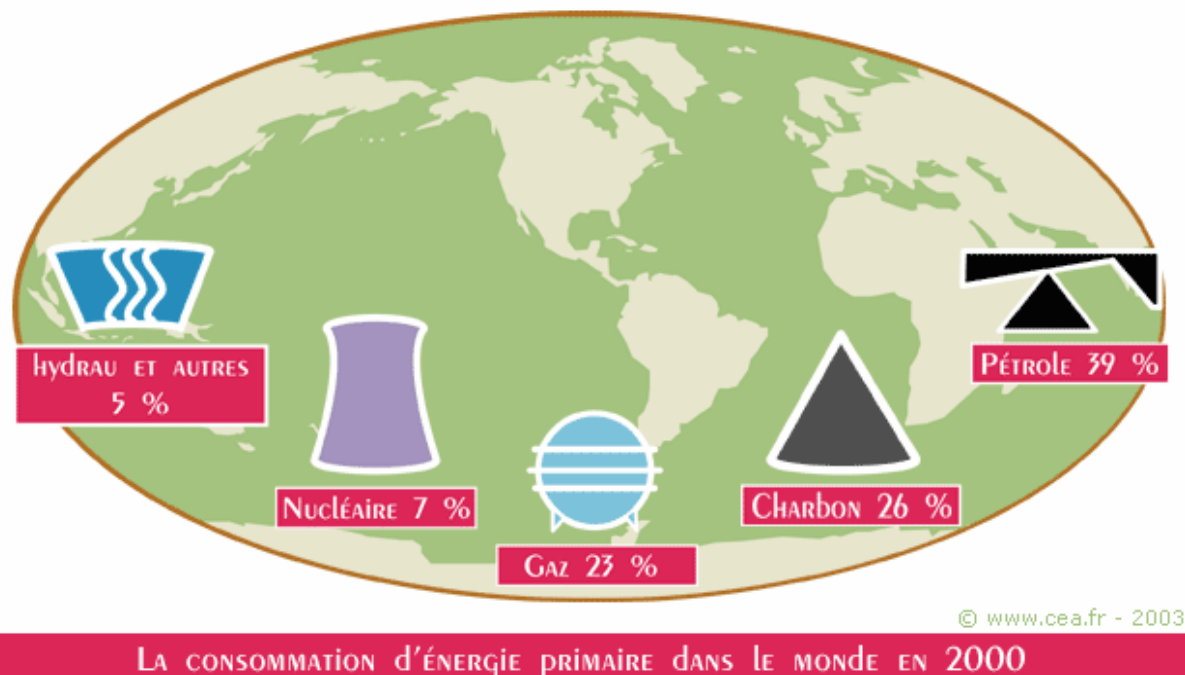
Rq 1 : Pour l'électricité d'origine nucléaire, on comptabilise comme énergie primaire la chaleur produite par les réacteurs et utilisée pour produire de l'électricité : c'est la méthode de l'équivalent primaire à la production. Avec un rendement théorique de conversion des installations égal à 33% ; le coefficient de substitution est donc :

$$0,086/0,33 = 0,2606 \text{ tep/MWh, soit } 0,2606 \text{ Mtep/TWh.}$$

- **ENRt** : Par convention on appelle ENR thermiques les énergies renouvelables que sont le bois de chauffage ramassé ou vendu au noir, les déchets urbains ou industriels, la géothermie valorisée sous forme de chaleur, le solaire thermique actif, les résidus de bois et de récoltes, le biogaz, les biocarburants et les pompes à chaleur. L'électricité d'origine hydraulique, éolienne, solaire photovoltaïque et géothermique, bien que renouvelable, est classée dans électricité... De ces dernières, c'est l'électricité d'origine hydraulique (66TWh en 2002) qui en constitue l'essentiel (les autres sont à rechercher pour l'instant après la virgule ...).

Références

- Elles sont toutes citées dans le texte.
- Les statistiques sur l'électricité : http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/fle_stats.htm
- Une très belle étude peut être trouvée à <http://www.manicore.com/documentation/economies.html>
Le site, réalisé par Jean-Marc Jancovici, est une mine d'analyses et un combat contre les préjugés : <http://www.manicore.com/>





Quelques ordres de grandeur supplémentaires en 2005

◆ Origine de l'énergie totale consommée en France :

	Consommation (%)	Production (%)
Charbon	5	0,7
Pétrole	33,5	1,5
Gaz naturel	14,5	0,7
Elec. Primaire (nucléaire + hydraulique)	42,5	89
Autres	4,5	8,1

Production = 49 % de la consommation seulement !

Consommation totale d'énergie en France : 276,5 Mtep.

... soit environ 230 millions de voitures consommant 8 l / 100 km sur 15000 km chacune ...

qui représente 3 % de la consommation mondiale, pour 1 % de la population.

◆ Origine de l'énergie électrique consommée en France :

- Production totale : 572 TWh (=572.10⁹ kWh), dont 16,5 % exportée, soit **478 TWh consommés**.

Origine	%
Nucléaire	78,6
Thermique (fossile)	10,4
Hydraulique	9,8
Biomasse	0,6
Energie marine	0,2
Eolien	0,2
Autres (géothermie, solaire ...)	0,2

Rq : Puissance crête installée d'environ 100 GW, puissance moyenne sur 1 an 62 GW.



Document téléchargeable à : http://bidan.ups-tlse.fr/M1_SYGELEC/Docs/Docs/Docs_diverses.htm