

# MÉMENTO SUR L'ÉNERGIE

## ENERGY HANDBOOK

ÉDITION 2010

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Direction de la communication  
Bâtiment Siège - 91191 Gif-sur-Yvette cedex

Institut de technico-économie des systèmes énergétiques  
Direction de l'énergie nucléaire  
Bâtiment 125 - 91191 Gif sur Yvette

[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

ISSN - 1280-9039

Imprimé sur papier ECF



énergie atomique • énergies alternatives

# MÉMENTO SUR L'ÉNERGIE 2010

**L**a version 2010 du livret " Mémento sur l'énergie " que vous avez entre les mains contient un ensemble de notions et de données économiques indispensables pour comprendre les problèmes inhérents à toute politique énergétique.

Le livret " Elecnucl " donne un panorama complet des centrales nucléaires passées, présentes ou en construction dans le Monde.

Si chaque ouvrage se suffit à lui même, l'ensemble a pour ambition de constituer, dans un format pratique, une sélection relativement complète de données de base utiles tant au professionnel qu'à toute personne intéressée, à un titre ou un autre, aux problèmes énergétiques.

MÉMENTO SUR L'ÉNERGIE est disponible en PDF  
sur le site [www.cea.fr](http://www.cea.fr)

Si vous souhaitez recevoir régulièrement les  
mises à jour de ce document, merci de renseigner  
le bulletin d'abonnement en ligne sur le site  
[www.cea.fr](http://www.cea.fr) - Espace Publications

*Si vous avez des remarques ou des suggestions, adressez-vous à :*  
*If you have some remarks and suggestions, send your request to:*

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
CEA Saclay  
Institut de technico-économie des systèmes énergétiques  
Direction de l'énergie nucléaire  
Bâtiment 125  
91191 Gif-sur-Yvette cedex  
E-mail : [francoise.thais@cea.fr](mailto:francoise.thais@cea.fr)

## Principaux messages issus de ce panorama énergétique mondial

- 1 - Ressources: les réserves prouvées mondiales en pétrole et en gaz se situent à hauteur respectivement de plus de 40 et de 60 fois la production mondiale de 2009, comparativement à plus de 120 fois pour le charbon (page 11).
  
- 2 - Evolution des besoins en énergie primaire : croissance de 1,7 %/an en moyenne dans le monde ces dernières années (1990-2007) dont forte croissance dans les pays en développement (ex : 3,4 % par an en Inde et 4,6 % en Chine) mais seulement 0,5 % dans l'Union européenne sur la période (page 19). Selon le scénario développé par l'AIE en 2009 (page 20), la croissance se prolongerait mais à un rythme moindre d'ici 2030.
  
- 3 - Part des énergies dans les besoins finaux en 2007 : domination très forte des combustibles fossiles dans la consommation finale d'énergie (68 % dont 43 % pour le seul pétrole). Le gaz naturel et l'électricité à hauteur respectivement de 16 et 17 % devancent la biomasse (12 %) et le charbon (9 %) (page 22). D'ici 2030, l'AIE retenait dans son scénario 2008 une situation semblable hormis pour l'électricité qui passerait à 22 % au détriment du pétrole et de la biomasse (page 22). Cette hausse de la part de l'électricité, qui est déjà visible dans les pays industrialisés, (ex : France, où elle est passée de 9,7 à 23,7 % entre 1973 et 2009, page 26) est attendue dans de nombreux pays en développement.
  
- 4 - Consommation d'électricité : la consommation par habitant montre de fortes disparités dans le monde, entre 578 kWh/an en Afrique, 2 346 kWh/an en Chine et 11 091 kWh/an en Amérique du Nord (page 18). Cette situation montre l'ampleur des besoins en nouvelles capacités de production d'électricité. D'ici 2030, la production d'électricité pourrait progresser de 2,4 % par an dans le monde à comparer avec 1,4 % pour la demande finale totale d'énergie (page 36) d'après l'AIE (scénario de 2009).
  
- 5 - Part des énergies dans la production mondiale d'électricité (page 33) : le charbon domine avec 42 % de la production ; il est suivi par le gaz naturel, l'hydraulique et le nucléaire avec respectivement 20,9 %, 15,6 % et 13,8 %. Le nucléaire est devancé par le charbon également en Europe (respectivement 28,1 % et 30,8 %) même si certains pays sont dans une situation bien différente (ex : France 77,9 % pour le nucléaire). Le scénario 2008 de l'AIE retenait d'ici 2030 (page 36) une réduction de la part du nucléaire dans la production mondiale d'ici 2030 (de 14 à 11 %) malgré une croissance en valeur absolue.
  
- 6 - Energies renouvelables dans la production électrique : hors hydraulique, faible part dans le total des capacités installées mais croissance rapide et désormais position notable en valeurs absolues (pages 13-14 et 31). Ainsi, les capacités PV qui augmentent rapidement excèdent en 2007 9 GWe crête, il en est de même pour les capacités éoliennes qui atteignent 94 GWe. L'hydraulique a produit 16 % de l'électricité mondiale en 2006, les autres énergies renouvelables 2,3 % (page 33).
  
- 7 - Gaz à effet de serre : Le CO<sub>2</sub> issu de la combustion des énergies fossiles est le premier contributeur des émissions (57,4 % voir page 72) suivi de loin par le CO<sub>2</sub> issu de la déforestation (19,4 %) et par le méthane (14,3 %). C'est du secteur de l'énergie qu'il est principalement issu (page 72). La Chine est le premier pays émetteur de GES (6,1 GtCO<sub>2</sub>), après avoir récemment supplanté les Etats Unis (5,9 GtCO<sub>2</sub>, voir page 73). Depuis 1990, les émissions mondiales ont augmenté de plus de 30 %.
  
- 8 - Prix des énergies : le prix de l'uranium en contrat à long terme (qui représente 98 % des contrats de l'UE) a augmenté de 18 % de 2008 à 2009, alors que les prix sur le marché spot ont chuté de plus de 30 %. En 2007, le prix moyen de l'électricité industrielle HT dans l'Union européenne était de 78,6 €/MWh, allant de 44 € en Bulgarie à 111,5 € en Irlande (France : 54,1 €).

## SOMMAIRE

	pages
<b>ÉNERGIE - UNITÉS ET FACTEURS DE CONVERSION</b>	
<b>RESSOURCES, CONSOMMATION ET PRODUCTION</b>	<b>5</b>
<b>RESSOURCES, CONSUMPTION AND PRODUCTION</b>	
<b>TABLEAUX DE CONVERSION</b>	
Principales unités d'énergie <i>Main energy units</i>	6
Principales unités de puissance <i>Main power units</i>	6
Unités de volume métriques et anglo-saxonnes <i>Anglo-saxon and metric units conversion</i>	6
Unités usuelles pour l'uranium <i>Common units for uranium</i>	7
Table de conversion pour les composés de l'uranium	7
<i>Conversion table for uranium compounds</i>	
Pouvoir calorifique inférieur des charbons <i>Lower calorific value for coals</i>	8
France : comptabilité de l'énergie primaire <i>France: primary energy accountancy</i>	9
Equivalence énergétique de l'uranium naturel <i>Energy equivalence for natural Uranium</i>	10
Equivalence énergétique des combustibles fossiles <i>Energy equivalence for fossil fuels</i>	10
<b>RESSOURCES</b>	
Monde : réserves prouvées en énergies fossiles par zone géographique fin 2009 <i>World: proved reserves of fossil fuels per geographical area at end 2009</i>	11
Monde : réserves d'uranium <i>World: Uranium reserves</i>	12
Monde : réserves d'énergies non renouvelables en 2007 <i>World: reserves of not renewable energies for 2007</i>	13
Production d'électricité d'origine éolienne <i>Electricity production from wind power</i>	14
Répartition mondiale de la puissance géothermique installée (MW) et production annuelle (GWh) <i>Global installed geothermal capacity (MW) and annual output (GWh) - Regional distribution</i>	14
Capacité européenne EU25 installée cumulée de solaire thermique <i>European UE25 cumulative solar thermal capacity</i>	14
Capacité mondiale installée cumulée de PV (MWc) <i>Global cumulative PV capacity (MWp)</i>	14
Pouvoir calorifique inférieur du bois (PCI)	15
<b>CONSOMMATION</b>	
Scénario d'évolution de la population mondiale <i>Scenario of evolution of world population</i>	16
Monde : données générales pour 2007 <i>World: general datas for 2007</i>	17
Monde : approvisionnement total en énergie primaire <i>World: total primary energy supply</i>	19
Monde : scénario de référence pour l'approvisionnement en énergie primaire <i>World: reference scenario for primary energy supply</i>	20
Monde : consommation finale d'énergie en 2007 <i>World: final consumption of energy for 2007</i>	21
Monde : scénario de référence pour la consommation finale d'énergie <i>World: reference scenario for final consumption of energy</i>	22
Europe : données générales pour 2007 <i>Europe: general data for 2007</i>	23
Consommation d'électricité par habitant <i>Electricity consumption per head</i>	25
Consommation finale d'énergie par unité de PIB <i>Final energy consumption per GDP unit</i>	25
France : consommation d'énergie primaire (corrigée du climat) par énergie <i>France: primary energy consumption (corrected for climate) by energy</i>	26
France : consommation d'énergie finale (corrigée du climat) par énergie <i>France: final energy consumption (corrected for climate) by energy</i>	26
France : consommation d'énergie finale (corrigée du climat) par secteur <i>France: final energy consumption (corrected for climate) by sector</i>	27
France : scénario tendanciel DGEMP 2008 de demande énergétique <i>France: DGEMP 2008 primary energy demande scenario</i>	27
France : bilans électriques <i>France: electricity balances</i>	28



Emissions types de la production électrique	73
Principaux événements sur les changements climatiques	74
La Conférence de Kyoto	74
Situation des émissions de gaz à effet de serre des pays de l'UE27	75
<i>Situation of Greenhouse gas emissions for European Union countries</i>	
Situation de émissions de gaz à effet de serre des pays d'Europe vis-à-vis du protocole de Kyoto	76
<i>Situation of greenhouse gas emissions for Europe countries towards Kyoto Protocol</i>	
Monde : évolution des émissions de CO <sub>2</sub>	78
<i>World: evolution of CO<sub>2</sub> emissions</i>	
Monde : émissions de CO <sub>2</sub> par habitant provenant de combustibles fossiles	79
<i>World: CO<sub>2</sub> emissions per capita from fossil fuels</i>	
Monde : émissions de CO <sub>2</sub> par unité de PIB provenant de combustibles fossiles	80
<i>World: CO<sub>2</sub> emissions per GDP unit from fossil fuels</i>	
Principaux gaz à effet de serre <i>Main Greenhouse gases</i>	73
Europe: émissions de CO <sub>2</sub> par habitant provenant de combustibles fossiles	81
<i>Europe: CO<sub>2</sub> emissions per capita from fossil fuels</i>	
Europe : émissions de CO <sub>2</sub> par unité de PIB provenant de combustibles fossiles	82
<i>Europe: CO<sub>2</sub> emissions per GDP unit from fossil fuels</i>	
Europe : émissions de CO <sub>2</sub> par kWh pour le secteur de l'électricité et de la chaleur	83
<i>Europe: CO<sub>2</sub> emissions per kWh from electricity and heat generation</i>	
<b>DONNÉES ÉCONOMIQUES</b>	
Prix HT de l'électricité à usage domestique au 1 <sup>er</sup> janvier 2009	84
Prix TTC de l'électricité à usage domestique au 1 <sup>er</sup> janvier 2009	85
Prix HT de l'électricité à usage industriel au 1 <sup>er</sup> janvier 2009	86
Prix TTC de l'électricité à usage industriel au 1 <sup>er</sup> janvier 2009	87
Exemples de prix moyens des énergies en France	88
<i>Examples of average prices of energies in France</i>	
Tarifs d'achat de l'électricité produite par les énergies renouvelables	89
France : prix de l'uranium (moyenne zone Euratom)	90
<i>France: Uranium prices (Euratom average)</i>	
France : prix CAF des énergies importées <i>France: CIF prices of imported energies</i>	90
<b>GÉNÉRALITÉS</b>	
Tableau de Mendeleïev	91
Symboles, éléments et isotopes	92
Période, radioactivité et utilisation des principaux isotopes	93
Caractéristiques des particules élémentaires	94
Unités de mesure	95
Préfixes des multiples et sous-multiples décimaux des unités du Système international	98
Unités de mesure anglosaxonnes	98
Constantes physiques fondamentales	99
<b>LE CEA - PRÉSENTATION</b>	
Le CEA, un acteur clef de la recherche technologique	100
Etablissements CEA	101
Organigramme du CEA	102
Pour plus d'informations sur le CEA	104
Pour plus d'informations sur le nucléaire	106
Pour plus d'informations sur l'énergie	107
Publications périodiques du CEA	108

## ENERGIE

### UNITÉS ET FACTEURS DE CONVERSION RESSOURCES, CONSOMMATION ET PRODUCTION

### RESOURCES, CONSUMPTION AND PRODUCTION

## TABLEAUX DE CONVERSION

### Principales unités d'énergie Main energy units

	Abréviation	Joule <sup>(1)</sup>	Thermie <sup>(2)</sup>	British Thermal Unit <sup>(3)</sup>	Kilowatt-heure
1 joule	J	1	$2,389 \cdot 10^{-7}$	$9,479 \cdot 10^{-4}$	$2,778 \cdot 10^{-7}$
1 thermie	th	$4,186 \cdot 10^6$	1	$3,968 \cdot 10^{-3}$	1,163
1 British Thermal Unit	Btu	$1,055 \cdot 10^3$	$2,520 \cdot 10^{-4}$	1	$2,930 \cdot 10^{-4}$
1 kilowatt-heure	kWh	$3,600 \cdot 10^6$	$8,600 \cdot 10^{-1}$	$3,413 \cdot 10^3$	1

(1) 1 exajoule (EJ) =  $10^{18}$  J

(2) 1 calorie (Cal) =  $10^6$  th

(3) 1 quad =  $10^{15}$  Btu

### Principales unités de puissance Main power units

	Erg/sec	Watt	MW	Btu/heure	Cheval vapeur
Erg/sec	1	$10^{-7}$	$10^{-13}$	$3,414 \cdot 10^{-7}$	$1,3595 \cdot 10^{-10}$
Watt	$10^7$	1	$10^{-6}$	3,414	$1,3595 \cdot 10^{-3}$
MW	$10^{13}$	$10^6$	1	$3,414 \cdot 10^6$	$1,3595 \cdot 10^{-3}$
Btu/heure	$2,929 \cdot 10^6$	0,2929	$292,9 \cdot 10^{-9}$	1	$0,3982 \cdot 10^{-3}$
Cheval vapeur	$7,355 \cdot 10^9$	735,5	$735,5 \cdot 10^{-6}$	2 511	1

### Unités de volume métriques et anglo-saxonnes Anglo-saxon and metric units conversion

	Litre (l)	Mètre cube (m <sup>3</sup> )	Petroleum barrel	U.S. gallon	Imperial U.K. gallon	U.S. quart
1 litre	1	$10^{-3}$	$6,290 \cdot 10^{-3}$	$2,642 \cdot 10^{-1}$	$2,200 \cdot 10^{-1}$	1,057
1 mètre cube	$1,000 \cdot 10^3$	1	6,290	$2,642 \cdot 10^2$	$2,200 \cdot 10^2$	$1,057 \cdot 10^3$
1 Petroleum barrel	$1,590 \cdot 10^2$	$1,590 \cdot 10^{-1}$	1	$4,200 \cdot 10^1$	$3,497 \cdot 10^1$	$1,680 \cdot 10^2$
1 U.S. gallon	3,785	$3,785 \cdot 10^{-3}$	$2,381 \cdot 10^{-3}$	1	$8,327 \cdot 10^{-1}$	4,000
1 U.K. imperial gallon	4,546	$4,546 \cdot 10^{-3}$	$2,860 \cdot 10^{-2}$	1,201	1	4,804
1 U.S. quart	$9,463 \cdot 10^{-1}$	$9,463 \cdot 10^{-4}$	$5,942 \cdot 10^{-3}$	$2,500 \cdot 10^{-1}$	$2,082 \cdot 10^{-1}$	1

### Unités usuelles pour l'uranium Common units for uranium

	kg U	lb U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Short Ton U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
1 kg U	1	2,5998	$1,2999 \cdot 10^{-3}$
1 lb U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0,3846	1	$0,5 \cdot 10^{-3}$
1 Short Ton U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	769,3	2 000	1

### Table de conversion pour les composés de l'uranium Conversion table for uranium compounds

	U	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	UF <sub>4</sub>	UF <sub>6</sub>	UNH <sup>(1)</sup>
Poids moléculaire	238,03	270,03	286,03	842,01	314,02	352,02	502,13
U	1	0,881	0,832	0,848	0,758	0,676	0,474
UO <sub>2</sub>	1,134	1	0,944	0,962	0,860	0,767	0,538
UO <sub>3</sub>	1,202	1,059	1	1,019	0,911	0,813	0,570
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	1,179	1,040	0,981	1	0,894	0,797	0,559
UF <sub>4</sub>	1,319	1,163	1,098	1,119	1	0,892	0,625
UF <sub>6</sub>	1,479	1,304	1,231	1,254	1,121	1	0,701
UNH <sup>(1)</sup>	2,110	1,860	1,756	1,789	1,599	1,426	1

(1) Nitrate d'uranyle : UO<sub>2</sub> (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6 H<sub>2</sub>O

**Pouvoir calorifique inférieur des charbons** (Thermies/kg)  
Lower calorific value for coals

TOURBE	3,5	(4,85 en aggloméré)
LIGNITE « FIBREUX »	3	à 3,5
« TERREUX »	4,8	à 5
SEC	4,5	à 5,5
BITUMINEUX	6	à 7
CHARBON « Flambant gras »	5,55	à 7,75
« Flambant sec »	5,7	à 6,65
« Gras »	6,3	à 7,7
« Demi-gras »	6,75	à 7,7
« Anthracite »	7,25	à 7,85
COKE	6,6	

NB : Le pouvoir calorifique est la quantité de chaleur produite par la combustion du charbon. Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) inclut la chaleur latente de condensation de la vapeur d'eau produite par cette combustion. Cette chaleur latente n'étant pas récupérable dans les usages courants, on définit le pouvoir calorifique inférieur (PCI) qui n'en tient pas compte.

**France : comptabilité de l'énergie primaire**

France: primary energy accountancy

En 2002, l'Observatoire de l'énergie a décidé d'adopter la méthode utilisée par les organismes internationaux (AIE, Eurostat...). Cela modifie le coefficient de conversion de l'électricité (de kWh en tonne d'équivalent pétrole) et les soutes maritimes internationales. Since 2002, the French Observatoire de l'énergie decided to adopt the method used by the international organizations (IEA, Eurostat...). This changes the electricity conversion factor (from kWh to ton of oil equivalent) and international marine bunkers.

Energie ou vecteur Energy or vector	Unité physique Physical unit	Gigajoules (Gj) (PCI) (NCV)	Tep (PCI) (NCV)
<b>Charbon Coal</b>			
• Houille Hard coal	1 t	26	26/42 ≈ 0,619
• Coke de houille Coal coke	1 t	28	28/42 ≈ 0,667
• Agglomérés et briquettes de lignite Lignite briquettes	1 t	32	32/42 ≈ 0,762
• Lignite et produits de récupération Lignite & recovered products	1 t	17	17/42 ≈ 0,405
<b>Produits pétroliers Petroleum products</b>			
• Pétrole brut, gazole/fioul domestique, produits à usages non énergétiques Crude oil, automotive diesel/domestic fuel oil, products for not enegy uses	1 t	42	1
• GPL LPG	1 t	46	46/42 ≈ 1,095
• Essences moteur et carburants Automotive gasoline and jet fuel	1 t	44	44/42 ≈ 1,048
• Fiouls lourds Heavy fuel oil	1 t	40	40/42 ≈ 0,952
• Coke de pétrole Petroleum coke	1 t	32	32/42 ≈ 0,762
<b>Gaz naturel et industriel Natural and industrial gas</b>	1 MWh PCS 1 MWh GCV	3,24	3,24/42 ≈ 0,077
<b>Biocarburants Biofuels</b>			
Ethanol	1 t	26,8	26,8/42 ≈ 0,638
Biodiesel (ester méthylique d'acide gras)	1 t	36,8	36,8/42 ≈ 0,876
<b>Bois Wood</b>	1 stère	6,17	6,17/42 ≈ 0,147
<b>Vecteur Electricité Electricity Vector</b>			
• Production d'origine nucléaire Nuclear production	1 MWh	3,6	0,086/0,33 ≈ 0,2606
• Production d'origine géothermique Geothermal production	1 MWh	3,6	0,086/0,1 ≈ 0,86
• Autres types de production, échanges avec l'étranger et consommation Other types of production, international exchanges, consumption	1 MWh	3,6	3,6/42 ≈ 0,086
<b>Vecteur Hydrogène Hydrogen Vector</b>			
1 kg de H <sub>2</sub> ≈ 11,126 Nm <sup>3</sup> de H <sub>2</sub> ≈ 14,13 l de H <sub>2</sub> (1 Nm <sup>3</sup> = 1 m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> à 0°C et 1 bar)	1 t	120,1	120,1/42 ≈ 2,86

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur NCV : Net Calorific Value

PCS : Pouvoir Calorifique Supérieur GCV : Gross Calorific Value

Source : Observatoire de l'énergie et étude CONCAWE, Commission européenne

### Équivalence énergétique de l'uranium naturel

Elle dépend de l'efficacité d'utilisation de l'uranium, c'est-à-dire :

- du taux de rejet de l'uranium appauvri lors de la phase d'enrichissement (plus ce taux est faible, mieux on tire parti de la composante U235). Le choix du taux de rejet résulte d'un compromis entre le prix de l'uranium et celui de l'UTS (unité de travail de séparation, voir p. 48 le chapitre « Cycle du combustible nucléaire ») ;
- du taux de combustion de l'uranium dans les réacteurs ;
- de la réutilisation éventuelle du plutonium généré dans le réacteur et de l'uranium de traitement.

Les valeurs obtenues dans les REP actuels dépassent 10 000 tep par tonne d'uranium naturel pour un taux de rejet de l'ordre de 0,3 % et sans recyclage. Mais l'utilisation optimale de l'uranium naturel passe par la mise en œuvre de la filière rapide qui permet d'exploiter la quasi-totalité de l'uranium naturel. L'équivalence énergétique est alors de l'ordre de 500 000 tep par tonne d'uranium naturel.

Dans les réacteurs à eau actuels et sans recyclage du plutonium, une tonne d'uranium naturel fournit 420 000 GJ, soit 10 000 tep, soit 14 334 tec.

### Équivalence énergétique des combustibles fossiles

Energy equivalence for fossil fuels

1 joule (J)	0,239 calorie		
1 calorie (cal)	4,186 J		
1 tonne d'équivalent pétrole (tep) PCI *	42 gigajoules (GJ) <sup>(2)</sup>	1,433 tec	
1 tonne d'équivalent charbon (tec) PCI	29,3 GJ	0,697 tep	
1 000 m <sup>3</sup> de gaz naturel (PCI)	36 GJ	0,857 tep	
1 tonne de gaz naturel liquide	46 GJ	1,096 tep	
1 000 kWh (énergie primaire) <sup>(1)</sup>	3,6 GJ	0,086 tep <sup>(3)</sup>	0,26 tep <sup>(4)</sup>
		(hydraulique)	(nucléaire)

\* Pouvoir calorifique inférieur - PCI : il se distingue du pouvoir calorifique supérieur (PCS) par la non prise en compte de la chaleur latente de condensation de la vapeur d'eau, laquelle n'est en général pas utilisable dans la pratique.

(1) Pour la conversion d'électricité en tep, voir le tableau précédent.

(2) Plus exactement 41,868 GJ.

(3) 0,0857 tep

(4) 0,260606 tep

### RESSOURCES

Monde : réserves prouvées en énergies fossiles par zone géographique fin 2009

World: proved reserves of fossil fuels per geographical area at end 2009

2009	Anthracite et bitumineux Anthracite & bituminous	Sous-bitumineux et lignite Sub-bituminous & lignite	Total Minéraux solides Coal total	Ratio R/P * Minéraux solides Coal R/P ratio
	Millions tonnes Million tons	Millions tonnes Million tons	Millions tonnes Million tons	Années Years
Amérique du Nord North America	113 281	132 816	246 097	235
Amérique latine Latin America	6 964	8 042	15 006	181
Total Europe et Eurasie Europe & Eurasia total	102 042	170 204	272 246	236
Afrique Africa	33 225	174	33 399	131
Moyen-Orient Middle East				
Asie / Pacifique Asia / Pacific	155 809	103 444	259 253	59
<b>Total Monde World total</b>	<b>411 321</b>	<b>414 680</b>	<b>826 001</b>	<b>119</b>
dont OCDE of which OECD	159 012	193 083	352 095	174

\* Reserves / production 2009

Source: BP Statistical Review of World Energy, juin 2010

2009	Pétrole Oil	Ratio R/P* Pétrole Oil R/P ratio	Gaz naturel Natural gas	Ratio R/P* Gaz naturel Natural gas R/P ratio
	Millions tep Million toe	Années Years	Milliards m <sup>3</sup> Billion m <sup>3</sup>	Années Years
Amérique du Nord North America	10 200	15,0	9 160	11,3
Amérique latine Latin America	28 500	80,6	8 060	53,2
Total Europe et Eurasie Europe & Eurasia total	18 500	21,2	63 090	64,8
Afrique Africa	16 900	36	14 760	72,4
Moyen-Orient Middle East	102 000	84,8	76 180	>100
Asie / Pacifique Asia / Pacific	5 600	14,4	16 240	37
<b>Total Monde World total</b>	<b>181 700</b>	<b>45,7</b>	<b>187 490</b>	<b>62,8</b>
dont OCDE of which OECD	12 400	13,5	16 180	14,4

\* Reserves / production 2009

Source: BP Statistical Review of World Energy, juin 2010



Monde: réserves d'Uranium  
World: Uranium reserves

01/01/2007	Réserves raisonnablement assurées milliers tonnes U (<130\$/kgU) Thousand tons U	Réserves supplémentaires supposées milliers tonnes U (<130\$/kgU) Thousand tons U	Production 2006 milliers tonnes U Thousand tons U	R/P
Amérique du Nord North America	670	95	12	58
Amérique Latine Latin America	169	126	0,3	496
Europe	57	57	0,5	114
Ex-URSS <sup>(1)</sup> FSU <sup>(1)</sup>	758	916	11,5	66
Afrique Africa	752	285	6,9	108
Moyen-Orient Middle East	52	69	0,04	1 294
Asie / Pacifique Asia / Pacific	881	584	8,6	102
<b>Total Monde</b> <b>World total</b>	<b>3 338</b>	<b>2 131</b>	<b>39,6</b>	<b>84</b>
dont OCDE of which OECD	1 455	662	20	74

(1) Hors PECO Excluding Eastern & Central European Countries  
Source : Uranium 2007, Resources, Production and Demand, AEN, éd 2008

Monde: réserves d'énergies non renouvelables fin 2007  
World: reserves of not renewable energies for end 2007

	Réserves prouvées 2007 Proved reserves A	Production 2007 C	Ratio A/C
Pétroles conventionnels + Gaz naturels liquides	165 Gt	4 Gt	41
Schistes bitumineux	408 Gt	0,7 Gt	583
Gaz nat (CH <sub>4</sub> )	180 272 Gm <sup>3</sup>	2 940 Gm <sup>3</sup>	61
Charbons dont	826 Gt	6,4 Gt	129
Charbon bitumineux (anthracite inclus)	411 Gt	4,8 Gt	86
Charbon sub-bitumineux	265 Gt	0,6 Gt	442
Lignite	150 Gt	0,9 Gt	167
Uranium <sup>(1)</sup>	3 338 kt	41 kt	80
		<b>Production cumulée</b>	
Bitumes naturels	245 Gbarils	5 Gbarils	49
Pétroles extra-lourds	60 Gbarils	16,4 Gbarils	3,7

Rappels :  
1tep = 7,33 barils  
1 000 m<sup>3</sup> de Gaz nat = 0,85 tep  
lignite : 0,3 tep/t  
sub-bitumineux : 0,5 tep/t  
bitumineux : 0,7 tep/t  
(1) à un coût < 130 \$ /kg U  
Source : 2009 Survey of energy resources, CME

## Production d'électricité d'origine éolienne

Electricity production from wind power

Année Year	1995	2000	2005	2007	2008	2009
EU15: capacité éolienne cumulée (GW) <small>UE15: cumulative installed capacity [GW]</small>		13	41	49		
EU27: capacité éolienne cumulée (GW) <small>UE27: cumulative installed capacity [GW]</small>					65	75
Monde: capacité éolienne cumulée (GW) <small>World: cumulative installed capacity [GW]</small>	5	17	59	94	120	159

Source : GWEC (Global World Energy Council)

## Répartition mondiale de la puissance géothermique installée (MW) et production annuelle (GWh)

Global installed geothermal capacity (MW) and annual output (GWh) - Regional distribution

	Afrique	Amérique	Asie	Europe	Océanie	Total
Capacité installée en 2005 (MWe) <small>Installed capacity in 2005 [MWe]</small>	136	3 941	3 290	1 124	441	8 932
Capacité installée en 2007 (MWe) <small>Installed capacity in 2007 [MWe]</small>	136	4 422	3 563	1 401	517	10 039
Production annuelle en 2007 (GWh) <small>Annual output in 2007 [GWh]</small>	911	25 376	18 573	9 077	3 523	57 460

Source : Survey of Energy Resources Interim Update 2009 GWEC (Global World Energy Council)

## Capacité européenne UE25 installée cumulée de solaire thermique (MWth)

European UE25 cumulative solar thermal capacity (MWth)

Année Year	1995	2000	2005	2006	2007	2008
Puissance mondiale cumulée (MWth) <small>Global cumulative capacity (MWth)</small>	-	-	12 245	14 902	16 818,5	19 982,7

Source : Euroserver

## Capacité mondiale installée cumulée de PV (MWc)

Global cumulative PV capacity (MWp)

Année Year	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009
Puissance mondiale cumulée (MWc) <small>Global cumulative PV capacity (MWp)</small>	580	1 428	5 381	6 956	9 162	15 675	22 878

Source : EPIA

	Monde World	France
Durée annuelle d'ensoleillement (h/an) <small>Annual sunshine period (h/yr)</small>	1 000 - 4 000	1 600 - 2 835 (Lille-Marseille)

Source : EPIA

	France	Europe	Monde World
Energie reçue par m <sup>2</sup> de surface horizontale (kWh/m <sup>2</sup> /an) <small>Energy received per m<sup>2</sup> of horizontal surface (kWh/m<sup>2</sup>/yr)</small>	1 100 - 1 900	1 000	1 700

Source : EPIA

## Pouvoir calorifique du bois (PCI)

	GJ	MWh	Tep
1 tonne de bois (anhydre)	18,2	5,06	0,43
1 tonne de bois (humidité 50 %)	7,92	2,20	0,19

Source : AFOCEL

## Description de la forêt en France (FCBA 2008/2009)

Surface totale : 55,0 M ha

Forêt : 16,9 M ha

## Usage du bois (millions m<sup>3</sup>/an)

Production biologique forestière : 102 (Traitement IFN 2008)

Récolte de bois commercialisée en 2007 : 37,7

Dont 22,7 : bois d'œuvre

Dont 11,9 : bois d'industrie

Dont : 2,8 bois énergie (plaquettes forestières : 0,2)

La consommation domestique de bois de feu est estimée à 33 Mm<sup>3</sup>

Source : Mémento FCBA 2008-2009

## Coût moyen de la plaquette forestière en France livrée sur site (DGEC 2008) :

20 € MWh HT

## Comparaison biocarburant – carburant d'origine pétrolière

Etant donné la différence de PCI :

1 litre d'essence = 1,5 litre d'éthanol

1 litre de diesel = 1,06 litre de biodiesel

## Production mondiale de biocarburants (2008) :

Biodiesel : 16,1 milliards de litres dont 8,73 en Europe, 3,2 en Allemagne, 2,65 aux Etats-Unis et 2 Mds de litres en France

Bioéthanol : 65 milliards de litres dont 33,8 et 24,05 Mds de litres pour,

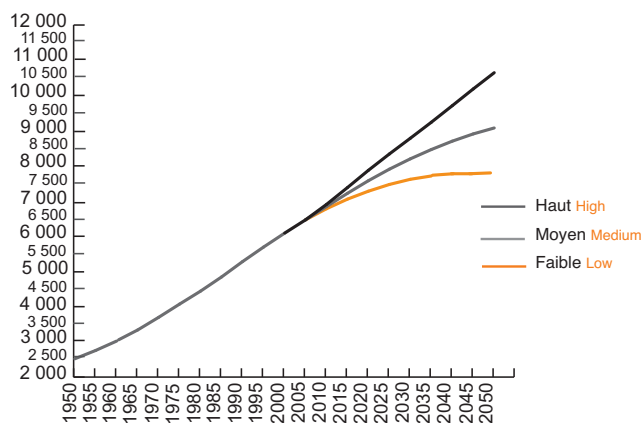
respectivement, les Etats-Unis et le Brésil,

2,85 milliards de litres en Europe dont 0,95 en France

Source : Plateforme biocarburants

## CONSOMMATION

Scénario d'évolution de la population mondiale  
Scenario of evolution of world population



Source : United Nations Secretariat, World Population Prospects database:  
The 2009 revision ( <http://esa.un.org/unpp> )

Monde : données générales pour 2007  
World: General datas for 2007

Année 2007 Year 2007	Population (millions hab)	PIB (PPA milliards US\$2000) GDP (PPP billion US\$2000)	Consommation finale d'énergie <sup>(1)</sup> (millions tep) Final consumption of energy <sup>(1)</sup> (million toe)	Consommation d'électricité (TWh) Consumption of electricity (TWh)
Amérique du Nord <sup>(2)</sup> North America	441	13 684	1 908	4 888
dont Etats-Unis of which USA	302	11 468	1 588	4 120
Amérique latine Latin America	461	3 714	424	847
dont Brésil of which Brazil	192	1 561	190	413
Europe OCDE OECD Europe	543	13 223	1 287	3 387
Europe non OCDE Non OECD Europe	53	509	67	176
Union européenne <sup>27</sup> European Union <sup>27</sup>	496	12 393	1 224	3 168
dont France of which France	64	1 738	165	495
Ex-URSS FSU	284	2 472	657	1 308
Moyen-Orient Middle East	193	1 552	365	628
Afrique Africa	958	2 373	462	554
Asie Asia	3 475	18 448	2 209	4 628
dont : of which:				
Chine China	1 327	10 156	1 256	3 114
Inde India	1 123	4 025	393	610
Pacifique OCDE <sup>(3)</sup> OECD Pacific <sup>(3)</sup>	202	5 454	577	1 772
<b>Total Monde</b> <b>World Total</b>	<b>6 609</b>	<b>61 428</b>	<b>8 286</b>	<b>18 187</b>
dont OCDE of which OECD	1 185	32 361	3 771	10 048

(1) A la différence des zones géographiques mentionnées, les données pour la France et les Etats-Unis comprennent les combustibles renouvelables et déchets. Unlike mentioned geographical areas, data for France and United States include combustible renewables and waste

(2) Etats-Unis, Canada, & Mexique USA, Canada, & Mexico

(3) Australie, Corée du Sud, Japon et Nouvelle Zélande Australia, South Korea, Japan and New Zealand

Source : Bilans Energétiques, AIE, éd 2009 Energy Balances, IEA, 2009 edition

Monde : données générales pour 2007 (suite)  
World: General datas for 2007

Année 2007 Year 2007	Consommation finale d'énergie par habitant (kep/hab) Final consumption of energy per capita (koe/capita)	Consommation finale d'énergie par unité de PIB <sup>(1)</sup> (kep/millier US\$2000) Final consumption of energy per GDP unit <sup>(1)</sup> (koe/thousand US\$2000)	Consommation finale d'électricité par habitant (kWh/hab) Final consumption of electricity per capita (kWh/capita)	Consommation finale d'électricité par unité de PIB <sup>(2)</sup> (kWh/millier US\$2000) Final consumption of electricity per GDP unit <sup>(2)</sup> (kWh/thousand US\$2000)
Amérique du Nord <sup>(3)</sup> North America <sup>(3)</sup>	4 329	139	11 091	357
dont Etats-Unis of which USA	5 256	138	13 640	359
Amérique latine Latin America	920	114	1 838	228
dont Brésil of which Brazil	991	122	2 154	264
Europe OCDE OECD Europe	2 370	97	6 238	256
Europe non OCDE Non OECD Europe	1 267	132	3 305	345
Union européenne 27 European Union 27	2 468	99	6 389	256
dont France of which France	<b>2 595</b>	<b>95</b>	<b>7 785</b>	<b>285</b>
Ex-URSS FSU	2 316	266	4 607	529
Moyen-Orient Middle East	1 888	235	3 252	405
Afrique Africa	482	195	578	233
Asie Asia	636	120	1 332	251
dont : of which:				
Chine China	947	124	2 346	307
Inde India	350	98	543	151
Pacifique OCDE <sup>(4)</sup> OECD Pacific <sup>(4)</sup>	2 863	106	8 796	325
<b>Total Monde World Total</b>	<b>1 254</b>	<b>135</b>	<b>2 752</b>	<b>296</b>
dont OCDE of which OECD	3 182	117	8 477	310

(1) Consommation finale d'énergie/ PIB Final consumption of energy/ GDP

(2) Consommation finale d'électricité / PIB Final consumption of electricity / GDP

(3) Etats-Unis, Canada, & Mexique USA, Canada, & Mexico

(4) Australie, Corée du Sud, Japon et Nouvelle Zélande Australia, South Korea, Japan and New Zealand

Nota : à la différence des zones géographiques mentionnées, les données pour la France et les Etats-Unis comprennent les combustibles renouvelables et déchets

Nota: unlike mentioned geographical areas, data for France and United States include combustible renewables and waste

Source : Bilans Energétiques, AIE, éd 2009 Energy Balances, IEA, 2009 ed

Monde : approvisionnement total en énergie primaire \*  
World: total primary energy supply \*

Mtep Mtoe	1990	1995	2000	2006	2007	%/an %/year 1990-2006
Amérique du Nord <sup>(1)</sup> North America <sup>(1)</sup>	2 243	2 450	2 682	2 747	2 794	1,2
dont Etats-Unis of which USA	1 913	2 089	2 283	2 303	2 340	1,1
Amérique latine Latin America	343	398	456	524	550	2,5
dont Brésil of which Brazil	140	161	189	223	236	2,8
Europe OCDE OECD Europe	1 605	1 682	1 736	1 843	1 827	0,8
Europe non OCDE Non OECD Europe	139	105	94	106	106	-1,6
Union européenne 27 European Union 27	1 637	1 666	1 686	1 779	1 759	0,5
dont France of which France	<b>224</b>	<b>241</b>	<b>253</b>	<b>268</b>	<b>264</b>	<b>1,0</b>
Ex-URSS FSU	1 405	973	914	1 012	1 019	-1,9
Moyen-Orient Middle East	220	320	378	521	552	5,2
Afrique Africa	388	449	500	608	629	2,7
Asie Asia	1 591	1 968	2 164	3 169	1 377	4,1
dont : of which:						
Chine China	872	1 062	1 105	1 859	1 970	4,6
Inde India	318	387	457	561	595	3,4
Pacifique OCDE <sup>(2)</sup> OECD Pacific <sup>(2)</sup>	631	758	832	871	877	1,9
Soutes maritimes internationales International marine bunkers	112	127	147	182	192	2,9
<b>Total Monde World Total</b>	<b>8 762</b>	<b>9 231</b>	<b>10 019</b>	<b>11 720</b>	<b>12 029</b>	<b>1,7</b>
dont OCDE of which OECD	<b>4 478</b>	<b>4 891</b>	<b>5 250</b>	<b>5 462</b>	<b>5 497</b>	<b>1,2</b>

(1) Etats-Unis, Canada, & Mexique USA, Canada, & Mexico

(2) Australie, Corée du Sud, Japon et Nouvelle Zélande Australia, South Korea, Japan and New Zealand

\* Approvisionnement Total en énergies primaires = Production + Importations - Exportations - soutages maritimes internationaux ± variations des stocks

\* Total Primary Energy Supply = Production + Imports - Exports - international marine bunkers ± stock changes

Source : Bilans Energétiques, AIE, éd 2009 Energy Balances, IEA, 2009 ed

Monde : scénario de référence pour l'approvisionnement en énergie primaire  
World: reference scenario for primary energy supply

	1990		2007		2015		2030	
	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%
Amérique du Nord <sup>(1)</sup> North America <sup>(1)</sup>	2 243	26	2 793	24	2 778	21	2 974	18
Amérique latine Latin America	343	4	551	5	633	5	816	5
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	1 602	19	1 826	16	1 788	14	1 894	12
UE 27 EU 27	1 633	19	1 757	15	1 711	13	1 781	11
Economies en transition <sup>(3)</sup> Transition economies <sup>(3)</sup>	1 546	18	1 114	10	1 161	9	1 354	8
Moyen-Orient Middle East	220	3	546	5	702	5	1 030	6
Afrique Africa	388	5	630	5	716	5	873	5
Asie en développement Developing Asia	1 591	18	3 346	28	4 468	33	6 456	38
dont Inde of which India	318	4	595	5	764	6	1 287	8
dont Chine of which China	872	10	1 970	17	2 783	21	3 827	23
Pacifique OCDE <sup>(4)</sup> OECD Pacific <sup>(4)</sup>	631	7	877	8	892	7	943	6
<b>Total</b>	<b>8 564</b>	<b>100</b>	<b>11 683</b>	<b>100</b>	<b>13 138</b>	<b>100</b>	<b>16 340</b>	<b>100</b>
dont OCDE of which OECD	4 476	52	5 496	47	5 458	42	5 811	36
<b>Monde World</b>	<b>8 761</b>	<b>100</b>	<b>12 013</b>	<b>100</b>	<b>13 488</b>	<b>100</b>	<b>16 789</b>	<b>100</b>
dont of which								
Charbon Coal	2 221	25	3 184	27	3 828	28	4 887	29
Pétrole Oil	3 219	37	4 093	34	4 234	31	5 009	30
Gaz Gas	1 671	19	2 512	21	2 801	21	3 561	21
Nucléaire Nuclear	526	6	709	6	810	6	956	6
Hydraulique Hydro	184	2	265	2	317	2	402	2
Biomasse et déchets Biomass & Waste	904	10	1 176	10	1 338	10	1 604	10
Autres renouvelables Other renewables	36	0,4	74	0,6	160	1	370	2

La différence entre total par régions et par énergies provient des soutes maritimes internationales  
The difference between total by region and by energy comes from international marine bunkers.

(1) Etats-Unis, Canada, Mexique USA, Canada, Mexico

(2) Union européenne 15, Hongrie, Islande, Norvège, Pologne, Rép. Slovaque, Rép. Tchèque, Suisse et Turquie  
- European Union 15, Hungary, Island, Norway, Poland, Slovak Rep., Czech Rep., Switzerland and Turkey

(3) Ex-Yougoslavie + ex URSS (hors Hongrie, Pologne, Rép. Slovaque, Rép. Tchèque) + Chypre, Malte et Gibraltar (pour des raisons statistiques) - Ex-Yougoslavie + FSU (exclusive of Hungary, Poland, Slovak Rep., Czech Rep.) + Cyprus, Malta & Gibraltar (for statistical reasons)

(4) : Australie, Corée du Sud, Japon et Nouvelle Zélande Australia, South Korea, Japan & New Zealand

Nota : Approvisionnement = Production + Imports - Exports - soutes maritimes internationales ± variations de stocks

Nota: Supply = Production + Import - Exports - international marine bunkers ± stock changes

Source : World Energy Outlook 2009, AIE - World Energy Outlook 2009, IEA

Monde : consommation finale d'énergie en 2007

World: final consumption of energy for 2007

(Mtep) (Mtoe)	Charbon Coal	Pétrole Oil	Gaz naturel Natural gas	Electricité Electricity	Total
Amérique du Nord <sup>(1)</sup> North America <sup>(1)</sup>	36	1 000	392	390	<b>1 908</b>
dont Etats-Unis of which USA	30	835	321	329	<b>1 588</b>
Amérique latine Latin America	11	198	61	69	<b>424</b>
dont Brésil of which Brazil	7	85	11	34	<b>190</b>
Europe OCDE OECD Europe	56	565	281	263	<b>1 287</b>
Europe non OCDE Non OECD Europe	4	27	13	13	<b>67</b>
Union européenne 27 European Union 27	43	538	276	244	<b>1 224</b>
dont France of which France	4	78	32	37	<b>165</b>
Ex-URSS FSU	39	148	226	90	<b>657</b>
Moyen-Orient Middle East	0,7	202	111	49	<b>365</b>
Afrique Africa	17	112	28	43	<b>462</b>
Asie Asia	523	640	119	355	<b>2 209</b>
dont : of which:					
Chine China	412	315	46	234	<b>1 256</b>
Inde India	47	119	18	49	<b>393</b>
Pacifique OCDE <sup>(2)</sup> OECD Pacific <sup>(2)</sup>	43	310	65	142	<b>577</b>
<b>Total Monde World total</b>	<b>729</b>	<b>3 532</b>	<b>1 296</b>	<b>1 414</b>	<b>8 286</b>
dont OCDE of which OECD	135	1 874	738	795	<b>3 771</b>

(1) Etats-Unis, Canada & Mexique USA, Canada & Mexico

(2) Australie, Corée du Sud, Japon et Nouvelle Zélande Australia, South Korea, Japan and New Zealand

Nota : à la différence des zones géographiques mentionnées, les données pour la France et les Etats-Unis comprennent les combustibles renouvelables et déchets (la différence entre somme des colonnes et Total provient de la consommation de chaleur non issue du combustible).

Nota: unlike mentioned geographical areas, data for France and United States include combustible renewables and waste (the difference between the sum of columns and total is due to heat not coming from combustible)

Source : Bilans Energétiques, AIE éd 2009 Energy Balances, IEA, 2009 ed

Monde : scénario de référence pour la consommation finale d'énergie  
World: reference scenario for final consumption of energy

	1990		2007		2015		2030	
	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%
Amérique du Nord <sup>(1)</sup> North America <sup>(1)</sup>	1 538	25	1 908	24	1 874	21	2 004	18
Amérique latine Latin America	259	4	420	5	477	5	610	6
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	1 115	18	1 287	16	1 284	15	1 397	13
UE 27 EU 27	1 126	18	1 224	15	1 220	14	1 307	12
Economies en transition <sup>(3)</sup> Transition economies <sup>(3)</sup>	1 086	18	719	9	753	9	895	8
Moyen-Orient Middle East	157	3	363	5	485	5	720	7
Afrique Africa	289	5	463	6	516	6	628	6
Asie non OCDE Non OECD Asia	1 220	20	2 207	28	2 888	33	4 111	38
dont Inde of which India	251	4	391	5	506	6	833	8
dont Chine of which China	668	11	1 256	16	1 730	20	2 353	21
Pacifique OCDE <sup>(4)</sup> OECD Pacific <sup>(4)</sup>	431	7	577	7	573	6	589	5
<b>Monde World</b>	<b>6 095</b>	<b>100</b>	<b>7 944</b>	<b>100</b>	<b>8 850</b>	<b>100</b>	<b>10 954</b>	<b>100</b>
dont OCDE of which OECD	3 084	51	3 771	47	3 731	42	3 991	36
dont of which								
Charbon Coal	761	12	727	9	846	9	961	8
Pétrole Oil	2 607	41	3 527	43	3 732	41	4 581	40
Gaz Gas	957	15	1 292	16	1 419	15	1 728	15
Electricité Electricity	833	13	1 413	17	1 752	19	2 488	22
Chaleur Heat	333	5	273	3	292	3	322	3
Biomasse et déchets Biomass & Waste	797	13	1 029	12	1 139	12	1 270	11
Autres Renouvelables Other Renewables	4	0,1	13	0,2	22	0,2	55	0,5

(1) Etats-Unis, Canada, Mexique USA, Canada, Mexico

(2) Union Européenne 15, Hongrie, Islande, Norvège, Pologne, Rép. Slovaque, Rép. Tchèque, Suisse et Turquie - European Union 15, Hungary, Island, Norway, Poland, Slovak Rep., Czech Rep., Switzerland and Turkey

(3) Ex-Yougoslavie + ex URSS (hors Hongrie, Pologne, Rép. Slovaque, Rép. Tchèque) + Chypre, Malte et Gibraltar (pour des raisons statistiques) - Ex-Yugoslavia + FSU (exclusive of Hungary, Poland, Slovak Rep., Czech Rep.) + Cyprus, Malta & Gibraltar (for statistical reasons)

(4) Australie, Corée du Sud, Japon et Nouvelle Zélande - Australia, South Korea, Japan & New Zealand

Source : World Energy Outlook 2009, AIE World Energy Outlook 2009, IEA

Europe : données générales pour 2007

Europe: general data for 2007

Année 2007 Year 2007	Population (millions habitants) (million inhabitants)	PIB (PPA milliards US\$2000) GDP (PPP billion US\$2000)	Approvision- nement en énergie primaire (millions tep) Primary energy supply (million toe)	Consommation finale d'énergie (millions tep) Final consumption of energy (million toe)	Consommation d'électricité (TWh) Electricity consumption (TWh)
Allemagne Germany	82,2	2 315	331	233	591
Autriche Austria	8,3	267	33	27	67
Belgique Belgium	8,3	324	57	40	92
Bulgarie Bulgaria	7,6	71	20	11	34
Chypre Cyprus	0,8	17	2	2	5
Danemark Denmark	5,5	172	20	15	36
Espagne Spain	44,9	1 084	144	103	283
Estonie Estonia	1,3	22	6	3	8
Finlande Finland	5,3	165	36	27	91
<b>France</b>	<b>63,6</b>	<b>1 738</b>	<b>264</b>	<b>165</b>	<b>481</b>
Grèce Greece	11,2	268	32	22	63
Hongrie Hungary	10,1	162	27	19	40
Irlande Ireland	4,4	160	15	12	27
Italie Italy	59,3	1 570	178	139	339
Lettonie Latvia	2,3	35	5	4	7,0
Lituanie Lithuania	3,4	52	9	6	12
Luxembourg	0,5	31	4	4	8
Malte Malta	0,4	8	1	0,4	2
Pays-Bas Netherlands	16,4	534	80	61	116
Pologne Poland	38,1	533	97	65	140
Portugal	10,6	188	25	20	52
Rép. Tchèque Czech Republic	10,3	209	46	27	67
Rép. Slovaque Slovak Republic	5,4	90	18	12	29
Roumanie Romania	21,5	200	39	26	53
Royaume-Uni United Kingdom	60,8	1 833	211	143	373
Slovénie Slovenia	2	47	7	5	14
Suède Sweden	9	298	50	34	139
<b>Union européenne (27) European Union (27)</b>	<b>493</b>	<b>12 393</b>	<b>1 759</b>	<b>1 224</b>	<b>3 169</b>

Nota: Approvisionnement en énergies primaires = Production + Importations - Exportations - soutages maritimes internationaux ± variations des stocks

Primary energy supply = Production + Imports - Exports - international marine bunkers ± stock changes

Les combustibles renouvelables et déchets ne sont pas inclus pour les pays non-OCDE (Bulgarie, Chypre, Malte, Roumanie, Slovénie et Etats-Baltes) - Combustible Renewables and waste are not included for non-OECD countries (Bulgaria, Cyprus, Malta, Romania, Slovenia and Baltic States)

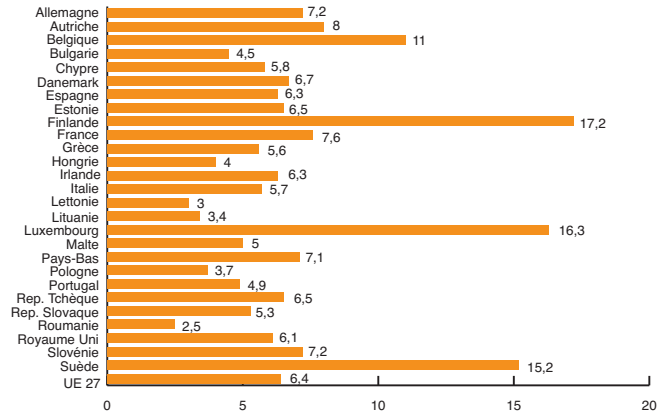
Source : Bilans Energétiques, AIE, éd 2009 Energy Balances, IEA, 2009 ed

Europe : données générales pour 2007  
Europe: general data for 2007

Année 2007 Year 2007	Consommation finale d'énergie par unité de PIB <sup>(1)</sup> (kep/millier US\$2000) Final energy consumption per GDP unit <sup>(1)</sup> (koe/thousand US\$2000)	Consommation d'électricité par habitant (kWh/hab) Electricity consumption per head (kWh/head)	Consommation d'électricité par unité de PIB <sup>(2)</sup> (kWh/millier US\$2000) Electricity consumption per GDP unit <sup>(2)</sup> (kWh/thousand US\$2000)
Allemagne Germany	101	7 190	255
Autriche Austria	101	8 017	250
Belgique Belgium	123	11 024	283
Bulgarie Bulgaria	149	4 491	478
Chypre Cyprus	97	5 806	270
Danemark Denmark	88	6 667	212
Espagne Spain	95	6 296	261
Estonie Estonia	145	6 474	383
Finlande Finland	162	17 164	551
<b>France</b>	<b>95</b>	<b>7 573</b>	<b>277</b>
Grèce Greece	81	5 630	235
Hongrie Hungary	115	3 976	246
Irlande Ireland	77	6 261	171
Italie Italy	89	5 718	216
Lettonie Latvia	126	3 032	201
Lituanie Lithuania	120	3 390	221
Luxembourg	127	16 250	250
Malte Malta	47	4 955	257
Pays-Bas Netherlands	114	7 100	218
Pologne Poland	122	3 662	262
Portugal	107	4 863	274
Rép. Tchèque Czech Republic	129	6 502	321
Rép. Slovaque Slovak Republic	128	5 296	317
Roumanie	129	2 457	265
Royaume-Uni United Kingdom	78	6 143	204
Slovénie Slovenia	110	7 203	308
Suède Sweden	115	15 235	467
<b>Union européenne (27) European Union (27)</b>	<b>99</b>	<b>6 421</b>	<b>256</b>

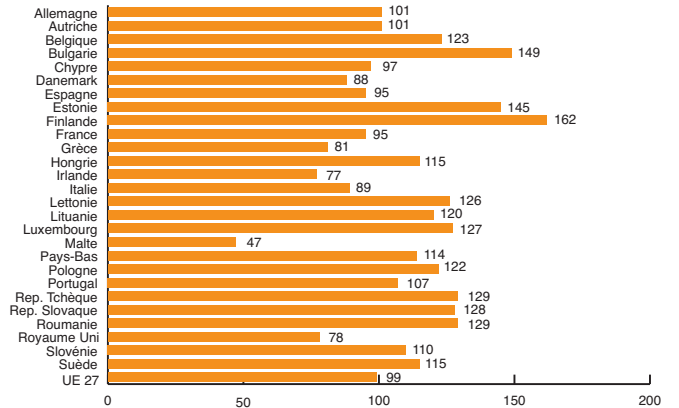
(1) Consommation finale d'énergie / PIB Final consumption of energy / GDP  
(2) Consommation finale d'électricité / PIB Final consumption of electricity / GDP  
Les combustibles renouvelables et déchets ne sont pas inclus pour les pays non-OCDE (Bulgarie, Chypre, Malte, Roumanie, Slovénie et Etats-Baltes) - Combustible Renewables and waste are not included for non-OECD countries (Bulgaria, Cyprus, Malta, Romania, Slovenia and Baltic States)  
Source : Bilans Energétiques, AIE, éd 2009 Energy Balances, IEA, 2009 ed

Consommation d'électricité par habitant (MWh/hab)  
Electricity consumption per head (MWh/capita)



Source : Bilans Energétiques, AIE, éd 2009 Energy Balances, IEA, 2009 ed

Consommation finale d'énergie par unité de PIB <sup>(1)</sup> (kep/millier US\$2000)  
Final energy consumption per GDP unit <sup>(1)</sup> (koe/thousand US\$2000)



Source : Bilans Energétiques, AIE, éd 2009 Energy Balances, IEA, 2009 ed

France : consommation d'énergie primaire (corrégée du climat) par énergie  
France: primary energy consumption (corrected for climate) by energy

Mtep Mtoe	1973	1980	1990	2000	2009	%/an %/Year	Parts (%)	Share (%)
						1973-2009	1973	2009
Charbon Coal	28	31	19	14	11	-2,6	15,5	4,2
Pétrole Oil	122	107	88	95	83	-1,1	67,7	31,9
Gaz Gas	13	21	26	38	39	3,1	7,3	15,0
Electricité primaire <sup>(1)</sup> Primary electricity <sup>(1)</sup>	8	22	83	109	111	7,7	4,3	42,7
Energies renouvelables thermiques et déchets Thermal renewable energies and waste	9	8	11	13	16	1,5	5,2	6,2
<b>Total</b>	<b>180</b>	<b>190</b>	<b>228</b>	<b>269</b>	<b>259</b>	<b>1,0</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

(1) Nucléaire + hydraulique, éolien et photovoltaïque Nuclear + hydro, wind & photovoltaic  
Source : Bilan énergétique de l'année 2009 de la France, Service de l'Observation et des Statistiques

France : consommation d'énergie finale (corrégée du climat) par énergie  
France: final energy consumption (corrected for climate) by energy

Mtep Mtoe	1973	1980	1990	2000	2009	%/an %/Year	Parts (%)	Share (%)
						1973-2009	1973	2009
Charbon Coal	18	13	10	7	5	-3,5	13,2	3,2
Pétrole Oil	85	78	71	74	67	-0,7	63,9	43
Gaz Gas	9	17	23	33	34	3,8	6,5	22
Electricité Electricity	13	18	26	34	37	2,9	9,7	23,7
Energies renouvelables thermiques Thermal renewable energies	9	8	11	11	14	1,2	6,7	8,8
<b>Total</b>	<b>134</b>	<b>134</b>	<b>141</b>	<b>159</b>	<b>156</b>	<b>0,4</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Source : Bilan énergétique de l'année 2009 de la France, Service de l'Observation et des Statistiques

France : consommation d'énergie finale (corrégée du climat) par secteur  
France: final energy consumption (corrected for climate) by sector

Mtep Mtoe	1973	1980	1990	2000	2009	%/an %/Year	Parts (%)	Share (%)
						1973-2009	1973	2009
Industrie Industry	48	45	38	39	33	-1,0	33,1	19,8
dont sidérurgie of which iron and steel industry	13	11	7	6	4	-3,0	8,6	2,5
Résidentiel- tertiaire Residential-tertiary	56	54	58	67	69	0,6	38,9	40,7
Agriculture	4	3	4	3	4	0,3	2,6	2,4
Transports	26	32	41	49	50	1,8	17,9	29,5
Total énergétique Energy total	134	134	141	158	156	0,4	92,4	92,4
Total non énergétique Not energy total	11	12	12	17	13	0,4	7,5	7,6
<b>Total</b>	<b>145</b>	<b>146</b>	<b>153</b>	<b>175</b>	<b>169</b>	<b>0,4</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Source : Bilan énergétique de l'année 2009 en France, Observatoire de l'énergie

France : scénario tendanciel DGEMP 2008 de demande énergétique  
France: DGEMP 2008 primary energy demand scenario

(Mtep) (Mtoe)	Réalisé Realized		Scénario tendanciel Business as usual scénario			TCAM 2006-2030 %/year 2006-2030
	1990	2000	2006	2020	2030	%/an
Charbon Coal	19,2	14,2	12,4	10	10,3	-0,8
Pétrole Oil	88,8	95,5	91,8	90	91,2	0,0
Gaz naturel Natural gas	26,4	37,3	40,3	59,4	70,3	2,3
Electricité * Electricity *	83,4	109,2	117,6	129,4	133,5	0,5
dont d'origine renouvelable of which renewable			5,5	9,4	10	2,5
Autres renouvelables et déchets other renewable & wastes	12,1	13,3	13,1	18,4	20,7	1,9
Total énergie primaire Total primary energy	230	269	275	313	326	0,7

\* Solde des échanges Balance of imports and exports

TCAM : Taux de Croissance Annuel Moyen

Source : DGEMP-OE, Minéfi



France : bilans électriques  
France: electricity balances

TWh	Consommation Consumption		Echanges avec l'étranger (3) Balance (3)	Production intérieure Inland Production				Total
	Intérieure (1) Inland (1)	Nette (2) Net (2)		Thermique classique Conventional Thermal	Hydraulique Hydro	Nucléaire Nuclear	Autres renouvelables Other renewables	
1950	33	29	0	17	16	-	-	33
1955	50	44	0	24	26	-	-	50
1960	72	65	0	32	41	0	-	72
1965	102	94	1	54	46	1	-	101
1970	140	130	-1	79	57	5	-	141
1975	181	168	3	101	60	17	-	179
1980	249	232	3	119	70	58	-	247
1985	303	280	-23	52	64	213	-	329
1990	350	323	-46	45	57	298	-	400
1995	397	369	-70	37	76	359	-	471
2000	441	411	-69	50	72	395	-	517
2005	482	450	-60	59	56	430	4	549
2007	480	448	-56	55	63	419	7,9 (dont éolien : 4)	545
2008	495	461	-47	53	68	418	9,6 (dont éolien : 5,6)	549
2009	486	453	-25	55	62	390	12,2 (dont éolien : 7,8)	519

(1) La consommation intérieure est égale à la somme de la production nationale et des échanges d'électricité, déduction faite de l'énergie de pompage **Inland consumption equals domestic generation plus imports minus exports & energy used for pumping**  
(2) La consommation nette est égale à la consommation intérieure moins les pertes de transport et de distribution **Net consumption equals inland consumption minus transportation and distribution losses**  
(3) Echanges : Importations (+), Exportations (-) **Balance: Imports (+), Exports (-)**  
Source : RTE (Energie électrique en France en 2009)

France : bilan de l'énergie en 2008  
France: energy balance for 2008

Mtep	Mtoe	Charbon Coal		Pétrole Oil		Gaz Gas		Electricité Electricity		Enr th BF	Total
2008		Houille Lignite (1)	Coke, agglomérés Coke, briquettes	Brut Crude	Raffiné Refined	Naturel Natural	Industriels Industrial	Prod. (2)	Cons. (3)	(4)	
		Hard coal, lignite (1)									
<b>Approvisionnement Supply</b>											
Total disponibilités Total availability		12,1		84,2	4,2	39,7		116,8		14,6	271,5
Production énergie primaire Primary energy production		0,1		1	0,1	0,8		121		14,2	137,1
Importations Imports		13,2	1	83,2	33,1	39,9		0,9		0,4	171,6
Exportations Exports		-0,1	-0,7		-26,7	-1,1		-5,1			-33,7
Stocks (5)		-1,4			0,3	0,1					-1,1
Soutes maritimes internationales International marine bunkers					-2,5						-2,5
<b>Emplois Employment</b>											
Consommation branche énergie (A) Energy branch consumption (A)		8,7	-3,2	84,2	-77,3	3,7	0,4	-5,2	84,3	2,8	98,4
Raffinage Refining				84,3	-78,9	0,5		-0,1	0,4		6,2
Production d'électricité thermique Thermal electricity production		5,2			1,3	2,6	0,8	-5,1		1,7	6,4
Usages internes Internal uses		3,7	-3,1		0,2	0,5	-0,3		4,3	0,2	5,5
Pertes et ajustements Losses and adjustments		-0,2	0,1		0,1	0,1			79,5	0,9	80,3
Consommation finale énergétique (corrigée du climat) (B) Final energy consumption (corrected for climate) (B)		3,2	3,4		68,4	35,4	-0,4		38	12	160
Sidérurgie Steel industry		1,6	2,9			0,6	-0,4		1		5,7
Industries Industries		1,2	0,4		5,1	11,8			10,4	1,5	30,5

(1) Ainsi que Produits de récupération **also recovered products**  
(2) Dont : - hydraulique et éolien: 6,42 Mtep including: - hydro and wind 6,42 Mtoe  
- nucléaire 114,53 Mtep - nuclear 114,53 Mtoe  
(3) ENR thermiques : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique...) **Renewable fuels: renewable thermal energies (wood, wood waste, thermal solar)**  
(4) Du fait d'arrondis, certains écarts peuvent être constatés sur certains totaux **Rounding of values may result in differences in some totals**  
(5) + : destockage ; - : stockage + : withdrawal ; - : stocking  
Source : Statistiques énergétiques France, 2009, Observatoire de l'énergie

France : bilan de l'énergie en 2008 (suite)  
France : energy balance for 2008

Mtep	Charbon Coal		Pétrole Oil		Gaz Gas		Electricité Electricity		Enr th RF	Total
2008	Houille Lignite (1) Hard coal, lignite (1)	Coke, agglomérés Coke, briquettes	Brut Crude	Raffiné Refined	Naturel Natural	Industriels Industrial	Prod. (2)	Cons. (3)	(4)	(4)
Résidentiel-Tertiaire Residential-Tertiary	0,3	0,1		13,4	22,7			24,9	8	69,4
Agriculture				3,3	0,3			0,6	0,1	4,3
Transports (6)				46,6	0,1			1,1	2,4	50,2
Consommation finale non-énergétique (C) Final non-energy consumption (C)		0,1		13,6	1,6					15,3
<b>Consommation totale d'énergie primaire (corrigée du climat) (A+B+C) Total primary energy consumption (corrected for climate) (A+B+C)</b>	<b>12,1</b>		<b>88,9</b>		<b>40,3</b>		<b>117,1</b>	<b>14,9</b>		<b>273,6</b>

(6) Hors soutes maritimes internationales Excepting international marine bunkers  
Source : Statistiques énergétiques France, 2009, Observatoire de l'énergie

PRODUCTION

Monde : capacités électriques installées au 1<sup>er</sup> janvier 2006  
World: electricity installed capacities as of 1<sup>st</sup> January of 2006

(GW) 01/01/2006	Thermique conventionnel Conventional thermal	Hydraulique Hydroelectric	Nucléaire Nuclear	Renouvelables et déchets (hors hydraulique) Renewable and waste (excepting hydro)	Total
Amérique du Nord (1) North America (1)	762	78	100	25	965
dont Etats-Unis of which United States	762	78	100	25	965
Amérique Latine Latin America	82	128	3	7	220
dont Brésil of which Brazil	14	71	2	6	93
Europe	458	165	136	52	810
dont UE 27 of which EU 27	425	131	133	51	740
dont France of which France	26	21	63	1	112
ex-URSS (2) FSU (2)	238	68	39	0	345
Moyen-Orient Middle East	136	9	0	0	145
Afrique Africa	86	22	2	0	110
Asie & Océanie (3) Asia & Oceania (3)	655	188	16	11	870
dont Chine of which China	391	117	7	2	518
dont Inde of which India	102	32	3	6	144
Pacifique OCDE (4) OECD Pacific (4)	1 149	338	26	19	1 531
<b>Total Monde World Total</b>	<b>2 752</b>	<b>777</b>	<b>377</b>	<b>107</b>	<b>4 012</b>

(1) Etats-Unis, Canada, & Mexique USA, Canada, & Mexico

(2) Hors pays UE 27 Except EU 27 countries

(3) Hors pays Pacifique OCDE Except OECD Pacific countries

(4) Australie, Corée du Sud, Japon et Nouvelle Zélande Australia, South Korea, Japan and New Zealand

Source : base de données internet DOE-EIA

Production d'électricité d'origine nucléaire par pays fin 2009  
Electricity generation from nuclear power plants by country at the end of 2009

Pays Countries	Production électrique totale (TWh nets) (Net total generation)	Production électrique nucléaire (TWh nets) (Net nuclear generation)	Part du nucléaire dans la production % (Nuclear share)
Afrique du Sud South Africa	239	12	4,8
Allemagne Germany	489	128	26,1
Argentine Argentina	109	8	7,0
Arménie Armenia	5	2	45,0
Belgique Belgium	87	45	51,7
Brésil Brazil	417	12	2,9
Bulgarie Bulgaria	40	14	35,9
Canada	574	85	14,8
Chine China	3 477	66	1,9
Corée du Sud South Korea	406	141	34,8
Espagne Spain	289	51	17,5
Etats-Unis USA	3 951	797	20,2
Finlande Finland	69	23	32,9
<b>France</b>	<b>521</b>	<b>392</b>	<b>75,2</b>
Hongrie Hungary	33	14	43,0
Inde India	683	15	2,2
Japon Japan	892	261	29,2
Lituanie Lithuania	13	10	76,9
Mexique Mexico	211	10	4,8
Pakistan	96	3	2,7
Pays-Bas Netherlands	109	4	3,7
Rép.tchèque Czech Republic	76	26	33,8
Roumanie Romania	52	11	20,6
Royaume-Uni United Kingdom	351	63	17,9
Russie Russia	857	153	17,8
Slovaquie Slovakia	24	13	53,5
Slovénie Slovenia	14	5	37,8
Suède Sweden	134	50	37,5
Suisse Switzerland	72	26	36,5
Taiwan (Chine / China)	193	40	20,7
Ukraine Ukraine	160	78	48,6
<b>Total</b>	<b>14 643</b>	<b>2 556</b>	<b>17,5</b>

Source : AIEA (base de données PRIS), IAEA (PRIS Database)

Monde : production d'électricité par source en 2007  
World: electricity generation by fuel for 2007

%	Charbon Coal	Pétrole Oil	Gaz naturel Natural gas	Nucléaire Nuclear	Hydraulique Hydro	Autres Others	Total
Amérique du Nord <sup>(1)</sup> North America <sup>(1)</sup>	43,4	3	21	18	12,4	2,8	100
dont Etats-Unis of which USA	49,0	1,8	21,2	19	5,8	2,9	100
Amérique latine Latin America	3	12,5	12,7	1,9	66,5	3,1	100
dont Brésil of which Brazil	2,3	3	3,5	3	84,0	4,3	100
Europe OCDE OECD Europe	28,3	3,1	22,4	25,9	13,9	6,4	100
Europe non-OCDE Non OECD Europe	47,8	6	9	14,2	22,4	0,3	100
Union européenne 27 European Union 27	30,8	3,4	21,8	28,1	9,3	6,6	100
<b>dont France</b> <b>of which France</b>	<b>5,0</b>	<b>1,1</b>	<b>3,9</b>	<b>77,9</b>	<b>10,3</b>	<b>1,8</b>	<b>100</b>
Ex-URSS FSU	20,5	2	42,6	17,8	16,5	0,3	100
Moyen-Orient Middle East	5,2	35	56,7	0	3,2	0	100
Afrique Africa	43,4	11,1	27,6	2	15,6	0,5	100
Asie <sup>(2)</sup> Asia <sup>(2)</sup>	47,5	8,8	23,8	3,4	14,3	2,2	100
dont Inde of which India	68,4	4,1	8,3	2,1	15,4	1,7	100
Chine China	80,9	1	1	1,9	15	0,4	100
Pacifique OCDE <sup>(3)</sup> OECD Pacific <sup>(3)</sup>	36,7	9,9	22,9	22,0	6,3	2,2	100
<b>Total Monde</b> <b>World Total</b>	<b>42</b>	<b>5,6</b>	<b>20,9</b>	<b>13,8</b>	<b>15,6</b>	<b>2,5</b>	<b>100</b>
dont OCDE which OECD	37	4,1	21,7	21,4	11,8	3,9	100

(1) USA, Canada et Mexique USA, Canada & Mexico

(2) Hors Chine Exclusive of China

(3) Australie, Corée du Sud, Japon et Nouvelle Zélande Australia, South Korea, Japan and New Zealand  
Source : Bilans énergétiques, AIE, éd 2009

Monde : production d'électricité  
World: electricity generation

TWh	1990	2000	2007	%/an 1990-2007 %/year
Amérique du Nord <sup>(1)</sup> North America <sup>(1)</sup>	3 809	4 835	5 220	2
dont Etats-Unis of which USA	3 203	4 026	4 323	2
Amérique latine Latin America	492	778	1 007	4
dont Brésil of which Brazil	223	349	445	4
Europe OCDE OECD Europe	2 632	3 200	3 577	2
Union européenne 27 European Union 27	2 568	2 997	3 328	2
dont France of which France	417	536	564	2
Europe non OCDE NonOECD Europe	196	178	197	0
Ex-URSS FSU	1 728	1 271	1 488	-1
Moyen-Orient Middle East	240	463	714	7
Afrique Africa	316	441	615	4
Asie Asia	1 273	2 628	5 106	9
dont : of which:				
Chine China	650	1 388	3 318	10
Inde India	289	562	803	6
Pacifique OCDE <sup>(2)</sup> Pacific OECD <sup>(2)</sup>	1 128	1 584	1 848	3
<b>Total Monde World total</b>	<b>11 814</b>	<b>15 378</b>	<b>19 771</b>	<b>3</b>
dont OCDE of which OECD	7 569	9 619	10 645	2

(1) Etats-Unis, Canada, & Mexique USA, Canada, & Mexico

(2) Australie, Corée du Sud, Japon et Nouvelle Zélande Australia, South Korea, Japan and New Zealand

Source : Bilans énergétiques, AIE, éd. 2009

Monde : consommation annuelle d'hydrogène  
World: annual hydrogen consumption

	2004		2006	
	10 <sup>9</sup> Nm <sup>3</sup>	%	10 <sup>9</sup> Nm <sup>3</sup>	%
Usages captifs Captive users	500	91	601	95
dont production d'ammoniac of which ammonia producers	250	45	212	33
dont raffineries of which refineries	185	34	320	51
dont production de méthanol of which methanol producers	40	7	50	8
dont autres <sup>(1)</sup> of which others <sup>(1)</sup>	25	5	19	3
Usages marchands Merchant users	50	9	30	5
<b>Total</b>	<b>550</b>	<b>100</b>	<b>631</b>	<b>100</b>

(1) Matières grasses et huiles, métaux, électronique, carburant cryogénique  
Fats and oils, metals, electronics, cryogenic fuel

Source : AFH2

Monde : production annuelle d'hydrogène  
World: annual hydrogen production

	2004		2006	
	10 <sup>9</sup> Nm <sup>3</sup>	%	10 <sup>9</sup> Nm <sup>3</sup>	%
à partir de ressources fossiles from fossils	530	96	605	96
dont gaz naturel of which natural gas	260	48	302	48
dont pétrole of which oil	170	30	189	30
dont charbon of which coal	100	18	113	18
à partir de l'eau <sup>(1)</sup> from water <sup>(1)</sup>	20	4	25	4
<b>Total</b>	<b>550</b>	<b>100</b>	<b>630</b>	<b>100</b>

(1) Electrolyse alcaline Alkaline electrolysis

Source : DOE, étude ALPHEA

Données de base sur l'hydrogène  
Basic data about hydrogen

PCI <sup>(1)</sup> LHV <sup>(1)</sup>	10,80 MJ/Nm <sup>3</sup> 119,9 MJ/kg
PCS <sup>(2)</sup> HHV <sup>(2)</sup>	12,77 MJ/Nm <sup>3</sup> 141,9 MJ/kg
Densité gazeuse à 273K Density at 273K	0,08988 kg/Nm <sup>3</sup>

(1) Pouvoir calorifique inférieur Low heating value

(2) Pouvoir calorifique supérieur High heating value

Source : AFH2

Monde : scénario de référence pour la production d'électricité  
World: reference scenario for electricity generation

	1990		2007		2015		2030	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%	TWh	%
Amérique du Nord <sup>(1)</sup> North America <sup>(1)</sup>	3 809	32	5 219	26	5 515	23	6 521	19
Amérique latine Latin America	492	4	1 005	5	1 247	5	1 745	5
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	2 632	22	3 575	18	3 716	15	4 398	13
UE 27 EU 27	2 568	22	3 325	17	3 432	14	3 968	12
Economies en transition <sup>(3)</sup> Transition economies <sup>(3)</sup>	1 924	16	1 685	9	1 868	8	2 375	7
Moyen-Orient Middle East	240	2	715	4	967	4	1 656	5
Afrique Africa	316	3	615	3	798	3	1 200	3
Asie non OCDE Non OECD Asia	1 273	11	5 095	26	8 233	34	14 101	41
dont Inde of which India	289	2	792	4	1 271	5	2 737	8
dont Chine of which China	650	6	3 318	17	5 622	23	8 847	26
Pacifique OCDE <sup>(4)</sup> OECD Pacific <sup>(4)</sup>	1 128	10	1 848	9	2 007	8	2 296	7
<b>Monde World</b>	<b>11 814</b>	<b>100</b>	<b>19 757</b>	<b>100</b>	<b>24 351</b>	<b>100</b>	<b>34 292</b>	<b>100</b>
dont OCDE of which OECD	7 568	64	19 756	100	24 353	100	34 291	100
dont of which								
Charbon Coal	4 424	37	8 216	42	10 461	43	15 259	44
Pétrole Oil	1 332	11	1 117	6	859	4	665	2
Gaz Gas	1 727	15	4 126	21	4 982	20	7 058	21
Nucléaire Nuclear	2 013	17	2 719	14	3 107	13	3 667	11
Hydraulique Hydro	2 144	18	3 078	16	3 692	15	4 680	14
Biomasse et déchets Biomass & Waste	131	1	259	1	408	2	839	2
Autres renouvelables Other renewables	42	0,4	241	1,2	844	3,5	2 123	6,2

(1) Etats-Unis, Canada, Mexique USA, Canada, Mexico

(2) Union européenne 15, Hongrie, Islande, Norvège, Pologne, République Tchèque, Suisse et Turquie  
European Union 15, Hungary, Island, Norway, Poland, Czech Republic, Switzerland and Turkey

(3) Ex-Yougoslavie + ex-URSS (hors Hongrie, Pologne, République Tchèque) + Chypre, Malte et Gibraltar (pour des raisons statistiques)

Ex-Yougoslavia + FSU (exclusive of Hungary, Poland, Czech Republic) + Cyprus, Malta & Gibraltar (for statistical reasons)

(4) Australie, Corée du Sud, Japon et Nouvelle Zélande Australia, South Korea, Japan & New Zealand

Source : World Energy Outlook 2009, AIE

Europe : évolution de la production électrique  
Europe: evolution of electricity generation

TWh		1973	1980	1990	2000	2007	%/an 1973-2007	%/an 2000-2007
Allemagne	Germany	374	466	548	572	630	1,5	1,4
Autriche	Austria	31	42	49	60	61	2,0	0,3
Belgique	Belgium	41	53	70	83	88	2,3	0,8
Bulgarie	Bulgaria	22	35	42	41	43	2,0	0,8
Chypre	Cyprus	0,8	1	2	3,4	4,9	5,5	5,4
Danemark	Denmark	19	27	26	36	39	2,1	1,2
Espagne	Spain	76	109	151	222	300	4,1	4,4
Estonie	Estonia			17	8,5	12,2		5,3
Finlande	Finland	26	41	54	70	81	3,4	2,2
<b>France</b>		<b>183</b>	<b>257</b>	<b>417</b>	<b>536</b>	<b>564</b>	<b>3,4</b>	<b>0,7</b>
Grèce	Greece	15	23	35	53	63	4,3	2,4
Hongrie	Hungary	18	24	28	35	40	2,4	1,8
Irlande	Ireland	7	11	14	24	28	4,0	2,4
Italie	Italy	144	184	213	270	308	2,3	1,9
Lettonie	Latvia			7	4	5		2,1
Lituanie	Lithuania			28	11,1	13,5		2,8
Luxembourg		1,4	0,9	0,6	0,4	3,2	2,5	33,0
Malte	Malta	0,4	0,5	1	1,9	2	5,5	2,6
Pays-Bas	Netherlands	53	65	72	90	103	2,0	2,0
Pologne	Poland	84	121	134	143	159	1,9	1,5
Portugal		10	15	28	43	47	4,7	1,1
Rép. slovaque	Slovak Republic	12	20	23	31	28	2,4	-1,4
Rép. tchèque	Czech Republic	41	53	63	73	88	2,3	2,7
Roumanie	Romania	47	67	64	52	62	0,8	2,5
Royaume-Uni	United Kingdom	281	284	318	374	392	1,0	0,7
Slovénie	Slovenia			12	13,6	15		1,4
Suède	Sweden	78	96	146	145	149	1,9	0,3
<b>UE (27)</b>	<b>EU (27)</b>	<b>1 564</b>	<b>1 994</b>	<b>2 565</b>	<b>2 996</b>	<b>3 328</b>	<b>2,2</b>	<b>1,5</b>

Source : Bilans énergétiques, AIE, éd 2009

France : production d'énergie renouvelable\*  
France: renewable energy production\*

	2004		2005		2006		2007		2008	
	Electricité (GWh)	Thermique (ktep)	Electricité (GWh)	Thermique (ktep)	Electricité (GWh)	Thermique (ktep)	Electricité (GWh)	Thermique (ktep)	Electricité (GWh)	Thermique (ktep)
Hydraulique Hydroelectricity	61 426		57 497		57 707		59 792		65 518	
Eolien Wind	629		2 191		2 230		4 116		5 774	
Solaire Solar	27	32	54	46	25	32	35	38	62	70
Géothermie Geothermal energy	29	130	78	130	29	114	95	109	89	114
Pompes à chaleur Heat pump		321		437		286		348		460
Déchets urbains renouvelables Renewable municipal waste	1 621	358	1 530	322	1 595	310	1 793	319	1 887	325
Bois et déchets de bois Wood and wood-residue	1 332	8 875	1 433	8 670	1 250	7 795	1 330	7 621	1 357	8 025
Résidus de récolte Crop residue	366	203	463	234	366	168	415	168	355	166
Biogaz Biogas	446	55	503	54	527	55	625	56	691	57
Biocarburants Bio-motorfuels		419		669		700		1 164		2 100
<b>Total</b>	<b>65 875</b>	<b>10 394</b>	<b>63 748</b>	<b>10 562</b>	<b>63 828</b>	<b>9 641</b>	<b>68 202</b>	<b>9 821</b>	<b>75 733</b>	<b>11 317</b>
<b>Total en ktep (1)</b>	<b>16 082</b>		<b>16 104</b>		<b>14 792</b>		<b>15 760</b>		<b>17 846</b>	

\* Métropole + DOM mother country + Overseas Departements

(1) Rappel : la conversion des kWh électriques se fait selon 1 GWh = 0,086 ktep excepté pour la géothermie où l'équivalence est 1GWh = 0,86 ktep.

Source : La production d'énergie d'origine renouvelable en France en 2008. DGEMP - Observatoire de l'énergie.

France : bilan électrique  
France: electricity balance

	2006		2007		2008		2009	
	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%
<b>Production nette Net Production</b>	<b>549</b>	<b>100</b>	<b>545</b>	<b>100</b>	<b>549</b>	<b>100</b>	<b>519</b>	<b>100</b>
Thermique nucléaire Nuclear	429	78,1	419	76,8	418,3	76,2	390,0	75,1
Thermique classique Conventional thermal	54	9,8	55	10,1	53,2	9,7	54,8	10,6
Hydraulique Hydro	61	11,1	63	11,6	68,0	12,4	61,8	11,9
Autres sources d'énergie renouvelables	6	1	8	1	10	2	12,2	2,4
dont éolien	2	0,4	4	0,7	5,6	1,0	7,8	1,5
<b>Consommation intérieure</b>	<b>478</b>		<b>480</b>		<b>495</b>		<b>486</b>	
Pertes Losses	32	6,7	32	6,7	33,5	6,8	33,6	6,9
Consommation nette Net consumption	446	93,3	448	93,3	461,0	93,2	452,8	93,1
<b>Pompage Pumping storage</b>	<b>7</b>		<b>8</b>		<b>7</b>		<b>7</b>	
<b>Solde Import-Export Import-Export balance</b>	<b>63</b>		<b>57</b>		<b>48</b>		<b>26</b>	

Source : Energie Electrique en France, RTE, éd 2009

France : production d'électricité thermique par catégorie de combustibles\*  
France: thermal electricity production by fuel \*

	Production thermique nette (TWh) Net Thermal generation	Combustible utilisé (%) Fuel used (%)				Nucléaire Nuclear
		Minéraux solides Mineral solid fuels	Fioul Oil	Gaz naturel Natural gas	Autres (1) Other	
1950	17	80,6	6,2	0	13,2	0
1955	24	77,1	7,6	0	15,3	0
1960	32	66,2	7,8	11,2	14,4	0,4
1965	55	65,9	18,4	5,5	8,6	1,6
1970	84	45	34,1	7,4	7,4	6,1
1975	119	25,7	44	9,6	6	14,7
1980	177	15,3	25,5	3,3	4,3	32,8
1985	265	14,4	2	1,1	2,1	80,4
1990	343	8,5	2,1	0,8	1,7	86,9
1995	396	5,8	1,5	0,8	1,5	90,8
2000	445	5,8	0,5	5	0,9	87,8
2006	463	4,6	0,8	1,6	0,5	92,6
2007	455	5,1	0,7	1,7	0,4	92,1
2008	453	4,7	0,7	1,8	0,5	92,3

\* Injectée sur le réseau RTE Injected on RTE network

(1) Gaz dérivés et divers

Source : RTE (Statistiques de l'Energie électrique en France - éd 2008)

Puissances maximales appelées par le réseau en France (GWe)  
Peak load demand of the french grid (GWe)

1950	jeudi 21 décembre	Thursday December 21	6,6 GWe
1955	mercredi 21 décembre	Wednesday December 21	8,9 GWe
1960	jeudi 15 décembre	Thursday December 15	12,9 GWe
1965	jeudi 9 décembre	Thursday December 9	17,5 GWe
1970	vendredi 18 décembre	Friday December 18	23,3 GWe
1975	mardi 16 décembre	Tuesday December 16	32 GWe
1980	mardi 9 décembre	Tuesday December 9	44,1 GWe
1985	mercredi 16 janvier	Wednesday January 16	60 GWe
1990	lundi 17 décembre	Monday December 17	63,4 GWe
1995	lundi 5 janvier	Monday January 5	66,8 GWe
2000	mercredi 12 janvier	Wednesday January 12	72,4 GWe
2005	lundi 28 février	Monday February 28	86 GWe
2009	jeudi 7 janvier	Thursday January 7	92,4 GWe

Source : Statistiques de l'énergie en France, RTE, éd. juillet 2009

France : équipement et production électrique par type d'utilisation en 2007  
 France: installed capacity and electricity generation by type of facility for 2007

2007	France				Réseau RTE		
	Puissance maximale (GW) Maximum power (GW)	Production (TWh)	Part dans la production de la technologie (%) Share in the technology (%)	Part dans la production totale France (%) Share of France total generation (%)	Puissance maximale RTE (TWh) Maximum capacity	Injections sur réseau RTE (TWh) Energy injected on RTE network (TWh)	Part des injections dans la production France (%) Share in French production injected (%)
Nucléaire Nuclear	63,3	418,6	88,4	76,9	63,3	418,6	76,9
Classique Conventional	24,1	55	11,6	10,1	20,7	36	6,6
Charbon Coal	7,9	23,2	4,9	4,3	7,9	23	4,2
Fioul (≥ 250 MW) Fuel oil	6,4	2,4	0,5	0,4	6,4	2,4	0,4
Autres Others	9,8	29,4	6,2	5,4	6,4	10,6	2
<b>Total thermique Thermal total</b>	<b>87,4</b>	<b>473,6</b>	<b>100</b>	<b>87</b>	<b>84</b>	<b>454,6</b>	<b>83,5</b>
Fil de l'eau Run-of-river	7,6	33,3	52,7	6,1	6,3	28,4	5,2
Eclusée Pondage	4,3	10,7	16,9	2	4,2	10,4	1,9
Lac Reservoir installation	9,3	12,6	19,9	2,3	9,2	12,2	2,3
Pompage Pumped storage	4,2	6,6	10,5	1,2	4,2	6,6	1,2
<b>Total hydraulique Hydro total</b>	<b>25,4</b>	<b>63,2</b>	<b>100</b>	<b>11,6</b>	<b>23,9</b>	<b>57,6</b>	<b>10,6</b>
Autres ENR other renewables	3,1	7,9	100	1,4	0,4	0,8	0,1
dont éolien of which wind	2,2	3,9	49,4	0,7			
<b>Total</b>	<b>116</b>	<b>545</b>	<b>-</b>	<b>100</b>	<b>108</b>	<b>513</b>	<b>94,2</b>

Nota : les différences entre totaux et sous-totaux proviennent des arrondis  
 Nota: differences between total values and sub-total values come from rounded off values  
 Source : Résultats techniques du secteur électrique en France 2007

**ENERGIE ELECTRIQUE  
ET ELECTRONUCLEAIRE**  
**ELECTRICITY AND NUCLEAR POWER**



Principales caractéristiques des filières électronucléaires  
Main characteristics of reactor types

Filières regroupées Reactor type groups	Filière Type	Caloporteur Coolant		Modérateur Moderator	Combustible Fuel
Graphite-gaz Gas-graphite	AGR	CO <sub>2</sub>	Advanced gas cooled	Graphite	UO <sub>2</sub> enrichi Enriched UO <sub>2</sub> U naturel Natural U UO <sub>2</sub> , UC <sub>2</sub> , ThO <sub>2</sub> ...
	MGUNGG	CO <sub>2</sub>	Magnox gas cooled		
	HTR (GT-MHR, PBMR)	He	High temperature		
Eau lourde Heavy water	PHWR	Eau lourde Heavy water	Sous pression Pressurized	Eau lourde Heavy water	UO <sub>2</sub> naturel ou enrichi Natural or enriched UO <sub>2</sub>
Eau ordinaire Light water	BWR (ABWR)	Eau ordinaire Light water	Bouillante Boiling	Eau ordinaire Light water	UO <sub>2</sub> enrichi Enriched UO <sub>2</sub> ou or UO <sub>2</sub> enrichi et Mox Enriched UO <sub>2</sub> and MOX
	PWR (APWR, WWER)	Eau ordinaire Light water	Sous pression Pressurized		
Neutrons rapides Fast reactor	Surgénérateur Breeder	Sodium			UO <sub>2</sub> enrichi - PuO <sub>2</sub> Enriched UO <sub>2</sub> - PuO <sub>2</sub>
Eau graphite Water graphite	RBMK (LWGR)	Eau ordinaire Light water	Bouillante Boiling	Graphite	UO <sub>2</sub> enrichi Enriched UO <sub>2</sub>
Eau ordinaire - eau lourde Light water - heavy water	HWLWR (ATR)	Eau ordinaire Light water	Bouillante Boiling	Eau lourde Heavy water	UO <sub>2</sub> enrichi -PuO <sub>2</sub> Enriched UO <sub>2</sub> - PuO <sub>2</sub>

ABWR, APWR, GT-MHR, PBMR : modèles avancés de réacteurs (Advanced reactor type).  
Source : CEA - Elecnuc

## GESTION DU COMBUSTIBLE

Le cœur d'un réacteur est constitué d'un certain nombre d'assemblages. Lors de la première charge, tous les assemblages sont neufs ; par la suite, seule une partie des assemblages est renouvelée à chaque arrêt pour rechargement. Pour décrire la gestion du combustible, on distingue la fraction du cœur déchargée (tiers ou quart du cœur) et la durée entre deux arrêts (annuel ou allongé par exemple à 18 mois). Les cœurs mixtes ont actuellement une gestion hybride : arrêts annuels et renouvellement par tiers de cœur pour le Mox et par quart de cœur pour l'UO<sub>2</sub>.

France : caractéristiques des REP <sup>(1)</sup> 900, 1300 et 1450 MWe  
France: Characteristics of the 900, 1300 and 1450 MWe PWR's <sup>(1)</sup>

Principales caractéristiques Main characteristics	REP 900 MWe PWR 900	REP 1300 MWe PWR 1300	REP 1450 MWe PWR 1450
Puissance électrique nette (MWe) Net electric capacity (Mwe)	880 à 915	1 300 à 1 335	1 455
Puissance thermique (MWth) Thermal power (MWth)	2 775	3 800	4 250
Rendement (%) Efficiency (%)	31,7 à 33,0	34,2 à 35,1	34,2
Nombre d'assemblages de combustible Number of fuel Assemblies	157	193	205
Nombre de crayons par assemblage Number of rods per assembly	264	264	264
Poids d'uranium par assemblage (kg) Weight of uranium per assembly (kg)	461,7	538,5	538,5
<b>Première charge Initial Loading</b>			
Masse d'uranium enrichi (tonnes) Weight of enriched uranium (t)	72,5	104	110,5
Enrichissement initial moyen (%) Average initial enrichment	2,43	2,28	2,29
Besoin en uranium naturel (tonnes) <sup>(6)</sup> Natural uranium requirements (t) <sup>(6)</sup>	316	423	449
Besoin en enrichissement (milliers d'UTS) Enrichment requirements (10 <sup>3</sup> SWU)	225	294	312
<b>Recharge à l'équilibre Equilibrium reload</b>	(1)	(2)	(3)
Nombre d'assemblage par recharge Number of assemblies per reload	40	28 (+16)	64
Masse de métal lourd (tonnes) Weight of heavy metal (t)	18,5	12,9 (+7,4)	34,5
Enrichissement (%) Enrichment (%)	3,7	3,7	3,1
Besoin en uranium naturel (tonnes) <sup>(7)</sup> Natural uranium requirements (t) <sup>(7)</sup>	153	107 (+0) <sup>(8)</sup>	235
Besoin en enrichissement (milliers d'UTS) <sup>(7)</sup> Enrichment requirements (10 <sup>3</sup> SWU) <sup>(7)</sup>	87	61 (+0) <sup>(8)</sup>	124
Irradiation moyenne (MWd/t) Burn-up (MWd/t)	41 200	(33 800)	32 100
Séjour en réacteur (mois) Fuel residence time (months)	48	48 (38)	38
		54	36

(1) Rechargement par quart de cœur (annuel) Reload by 1/4 core  
(2) Rechargement (MOX) par tiers de cœur (annuel) Reload by 1/3 core (MOX)  
(3) Rechargement par tiers de cœur (annuel) Reload by 1/3 core  
(4) Rechargement par tiers de cœur (allongé à 18 mois) Reload by 1/3 core (18 months)  
(5) Prévisionnel par tiers de cœur, susceptible de modification Reload by 1/3 (forecast)  
(6) Pour un taux de rejet de 0,25 % Assuming 0,25% tails assay and no losses  
(7) Pour un taux de rejet de 0,3 % Assuming 0,3% tails assay and no losses  
(8) MOX fabriqué avec de l'U appauvri Mox manufactured from depleted U  
Source : CEA

Parc électronucléaire français au 01/01/2010

58 unités installées représentant 63 GWe

Nuclear power plants in France - Status as of 2010/01/01

Regroupement par filière Reactor typeName of the unit	Nom des unités Net capacity MWe	Puissance - MWe nets Year of commercial operation	Année de MSI
58 unités REP 58 PWR units 62,9 GWe nets 62,9 net GWe	<b>Fessenheim-1</b>	<b>880</b>	<b>1978</b>
	<b>Fessenheim-2</b>	<b>880</b>	<b>1978</b>
	<b>Bugey-2</b>	<b>910</b>	<b>1979</b>
	<b>Bugey-3</b>	<b>880</b>	<b>1979</b>
	<b>Bugey-4</b>	<b>880</b>	<b>1979</b>
	<b>Bugey-5</b>	<b>900</b>	<b>1980</b>
	<b>Dampierre-1</b>	<b>890</b>	<b>1980</b>
	<b>Gravelines-1</b>	<b>915</b>	<b>1980</b>
	<b>Tricastin-1</b>	<b>880</b>	<b>1980</b>
	<b>Tricastin-2</b>	<b>880</b>	<b>1980</b>
	<b>Gravelines-2</b>	<b>915</b>	<b>1980</b>
	<b>Dampierre-2</b>	<b>890</b>	<b>1981</b>
	<b>Dampierre-3</b>	<b>890</b>	<b>1981</b>
	<b>Gravelines-3</b>	<b>915</b>	<b>1981</b>
	<b>Gravelines-4</b>	<b>915</b>	<b>1981</b>
	<b>Tricastin-3</b>	<b>880</b>	<b>1981</b>
	<b>Tricastin-4</b>	<b>880</b>	<b>1981</b>
	<b>Dampierre-4</b>	<b>890</b>	<b>1981</b>
	<b>Blayais-1</b>	<b>910</b>	<b>1981</b>
	<b>Saint-Laurent-B-1</b>	<b>890</b>	<b>1983</b>
	<b>Saint-Laurent-B-2</b>	<b>890</b>	<b>1983</b>
	<b>Blayais-2</b>	<b>910</b>	<b>1983</b>
	<b>Blayais-3</b>	<b>910</b>	<b>1983</b>
	<b>Blayais-4</b>	<b>910</b>	<b>1983</b>
	<b>Chinon-B-1</b>	<b>920</b>	<b>1984</b>
	<b>Cruas-Meyssse-1</b>	<b>915</b>	<b>1984</b>
	<b>Chinon-B-2</b>	<b>920</b>	<b>1984</b>
	<b>Cruas-Meyssse-3</b>	<b>915</b>	<b>1984</b>
	<b>Gravelines-5</b>	<b>915</b>	<b>1985</b>
	Paluel-1	1 330	1985
	<b>Cruas-Meyssse-2</b>	<b>915</b>	<b>1985</b>
	Paluel-2	1 330	1985
	<b>Cruas-Meyssse-4</b>	<b>915</b>	<b>1985</b>
	<b>Gravelines-6</b>	<b>915</b>	<b>1985</b>
Paluel-3	1 330	1986	
<b>34 REP-900 34 PWR-900</b> <b>30 660 MWe</b>			
20 REP-1300 20 PWR-1300 26 370 MWe			

Source : AIEA

Regroupement par filière Reactor typeName of the unit	Nom des unités Capacity net MWe	Puissance - MWe nets Year of commercial operation	Année de MSI
	Saint-Alban-1	1 335	1986
	Paluel-4	1 330	1986
	Flamanville-1	1 330	1986
	Saint-Alban-2	1 335	1987
	<b>Chinon-B-3</b>	<b>920</b>	<b>1987</b>
	Flamanville-2	1 330	1987
	Cattenom-1	1 300	1987
	Cattenom-2	1 300	1988
	Nogent-1	1 310	1988
	<b>Chinon-B-4</b>	<b>920</b>	<b>1988</b>
	Belleville-1	1 310	1988
	Belleville-2	1 310	1989
	Nogent-2	1 310	1989
	Penly-1	1 330	1990
	Golfech-1	1 310	1991
	Cattenom-3	1 300	1991
	Cattenom-4	1 300	1992
	Penly-2	1 330	1992
	Golfech-2	1 310	1994
Palier N4 N4 series <b>4 REP-1450 4 PWR-1450</b> 5 810 MWe nets	Chooz-B-1	1 455	2000
	Chooz-B-2	1 455	2000
	Civaux-1	1 450	2002
	Civaux-2	1 450	2002

Source : AIEA

France : évaluation des besoins en uranium et services du cycle du combustible REP <sup>(1)</sup>

France: Uranium and fuel cycle services requirements <sup>(1)</sup>

	2009	2015 <sup>(1)</sup>	2020 <sup>(1)</sup>
Puissance électronucléaire nette installée (GWe) <i>Installed nuclear capacity</i>	63,1	64,7	66,3
Production nette d'électricité nucléaire (TWh) <i>Nuclear electricity generation</i>	390	440-445	440-450
Besoins en uranium naturel (tU/an) <i>Natural Uranium requirements</i>	8 000	8 200	8 400
Besoins en services d'enrichissement (10 <sup>3</sup> UTS/an) <i>Enrichment requirements</i>	6 000	6 120	6 240
Besoins en fabrication <i>Manufacturing requirements</i>			
• de combustible REP U <sub>235</sub> (t ML/an) • U <sub>235</sub> PWR fuel manufacturing requirements (t HM/year)	1 050	1 075	1 100
• de combustible MOX pour REP (t ML/an) • Mox fuel for PWR (t HM/year)	120	120	120
Quantités de combustible irradié produites (t ML/an) <i>PWR spent fuel arisings (t HM/year)</i>	1 150	1 195	1 220

(1) Estimations *Estimates*

t ML : tonnes de Métal Lourd t HM : tonnes Heavy Metal

UTS : Unités de Travail de Séparation

Source : *Données sur l'énergie nucléaire*, AEN, éd 2009

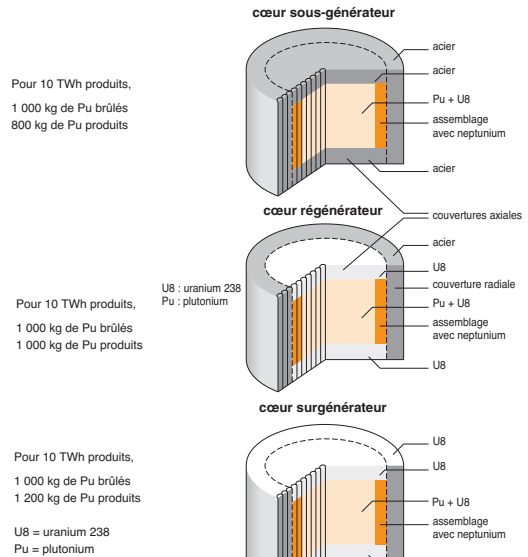
Principales caractéristiques d'un réacteur à neutrons rapides

Les réacteurs à neutrons rapides (RNR) ont été développés pour leur capacité à transformer l'uranium 238, non fissile, qui constitue plus de 99 % de l'uranium naturel, en plutonium fissile. Ils utilisent comme combustible du plutonium et consomment de l'ordre de 800 kg par an pour une puissance électrique de 1 200 MWe. Un RNR peut fonctionner en mode surgénérateur, avec des couvertures radiale et axiale à base d'uranium 238 : il produit alors plus de plutonium (Pu) qu'il n'en consomme. Mais il peut aussi fonctionner en mode régénérateur, avec une couverture radiale en acier (production de Pu égale à la consommation) ou en mode sous-générateur, avec des couvertures radiale et axiale en acier. Dans ce cas, son bilan aboutit à une consommation nette de plutonium (environ 200 kg pour 10 TWh produits).

Les RNR présentent en outre la caractéristique de pouvoir « brûler » les différents isotopes du plutonium issus du traitement des combustibles des réacteurs à eau sous pression. Il est également possible de les utiliser comme incinérateurs d'autres éléments radioactifs, appelés actinides (neptunium, américium...). Les neutrons rapides permettent la « transmutation » de ces éléments, qui sont des déchets radioactifs à vie longue, en déchets radioactifs à vie courte. Ce potentiel incinérateur des réacteurs à neutrons rapides, déjà expérimenté à Marcoule dans Phénix, fait l'objet de recherches de la plupart des principaux pays producteurs d'électricité d'origine nucléaire. C'est un des axes d'étude préconisés par la loi du 30 décembre 1991. Dans tous les cas, l'énergie électrique produite reste la même.

Le réacteur à neutrons rapides incinérateur d'actinides

The fast neutron reactor as an actinide incinerator

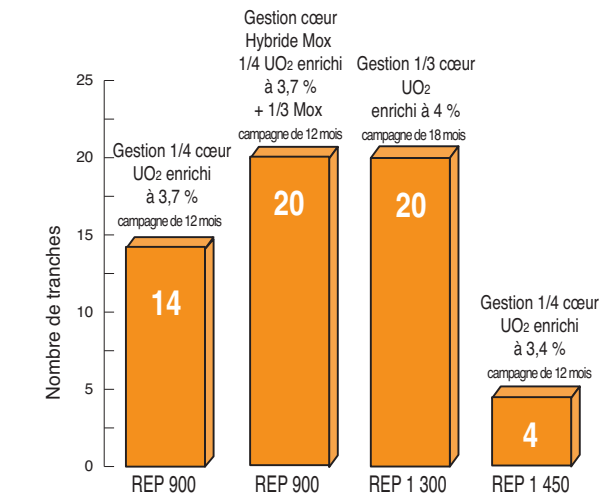


Source : « Les colonnes de Creys » n° 10

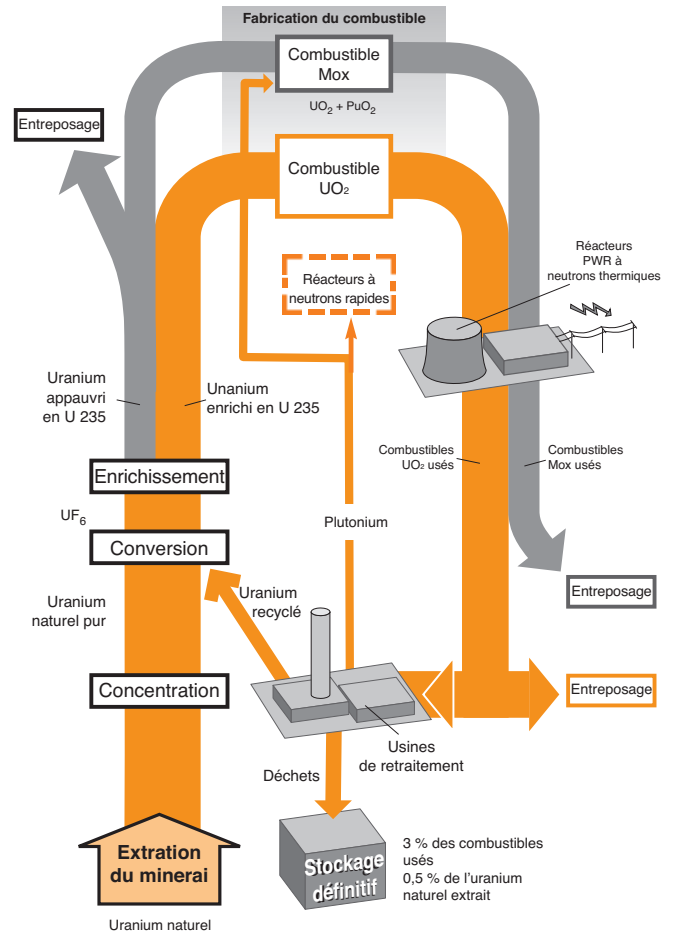
## CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE

L'uranium naturel extrait du minerai est constitué de 99,3 % d'uranium 238, inerte, et de 0,7 % d'uranium 235, seul susceptible de produire de l'énergie par fission. L'enrichissement permet d'obtenir un combustible  $UO_2$  (oxyde d'uranium) dont la teneur en isotope 235 est portée à environ 3,5 %. Pendant le séjour du combustible dans le réacteur il se forme du plutonium. Celui-ci est séparé lors de l'opération de traitement et peut servir alors à fabriquer du combustible Mox, mélange d'oxydes de plutonium et d'uranium appauvri, ou encore à alimenter les réacteurs à neutrons rapides.

### Gestion du combustible sur le parc REP d'EDF (Situation en décembre 2000)



### Cycle simplifié du combustible nucléaire en France



Source : D'après DSIN - Revue Contrôle - avril 1997

**Monde : besoins en uranium**  
World: Uranium requirements

	2006	2010	2015	2020	2025	2030
Tonnes U	66 500	de 70 395 à 75 020	de 76 870 à 86 385	de 85 390 à 98 600	de 90 935 à 110 510	de 93 775 à 121 955

Source : Uranium 2007. Resources, Production and Demand. AEN

**Définition de l'UTS**

La production d'une usine d'enrichissement de l'uranium s'exprime en unités de travail de séparation (UTS). Elle est proportionnelle à la quantité d'uranium traité et donne une mesure du travail nécessaire pour obtenir l'uranium enrichi. Elle dépend du taux d'enrichissement en isotope 235 de l'uranium et du taux d'appauvrissement de l'uranium résiduel. Il faut environ 100 000 UTS pour fournir le combustible nécessaire au fonctionnement pendant un an d'un réacteur de 1 000 MWe.

**Monde : capacité nominale d'enrichissement de l'uranium**

World: Uranium enrichment capacity

Pour l'ensemble du monde, les capacités nominales de production étaient de 56 MUTS en 2001 pour des besoins estimés de 32 MUTS. L'offre se répartissait conformément au tableau suivant (MUTS/an).

Sociétés	Pays	Procédé	Capacité
USEC	USA	Diffusion	18,8
MINATOM	Russie	Centrifugation	20
EURODIF	France	Diffusion	10,8
URENCO	Allemagne + Pays-Bas + Royaume-Uni	Centrifugation	4,5
JNFL/PNC	Japon	Centrifugation	1
CNNC	Chine	Diffusion	0,8
		Centrifugation	0,4
Autres	Argentine + Brésil + Pakistan	Diffusion/Tuyère/Centrifugation	0,035
<b>Total</b>			<b>56,335</b>

Source : CEA/DEN - AREVA

L'usine Georges Besse d'Eurodif représente le tiers de la capacité d'enrichissement actuelle dans le monde hors ex-URSS. L'usine est alimentée en électricité par trois des quatre tranches nucléaires du Tricastin. Elle peut assurer l'enrichissement des recharges annuelles de combustible d'environ 100 tranches de réacteurs de 1 000 MWe.

**Quantité d'uranium naturel et unités de travail de séparation nécessaires pour obtenir 1 kg d'uranium enrichi à un taux donné en fonction de la teneur en rejet**

Natural uranium and separative work units required to obtain 1 kg of enriched uranium at a given yield as a function of the depletion yield

Teneur en rejet (% U <sub>235</sub> )	3,1 % U 235		3,4 % U 235		3,7 % U 235		4 % U 235	
	U nat. (kg)	UTS	U nat. (kg)	UTS	U nat. (kg)	UTS	U nat. (kg)	UTS
0,10	4,910	6,274	5,401	7,158	5,892	8,051	6,383	8,950
0,15	5,258	5,226	5,793	5,979	6,328	6,740	6,863	7,508
0,20	5,675	4,526	6,262	5,190	6,849	5,864	7,436	6,544
0,25	6,182	4,009	6,833	4,609	7,484	5,217	8,134	5,832
0,30	6,813	3,606	7,543	4,154	8,272	4,712	9,002	5,277

Source : CEA

**Les procédés d'enrichissement isotopique de l'uranium**

Afin de prendre la relève de la diffusion gazeuse, la France et les Etats-Unis ont travaillé sur de nouveaux procédés d'enrichissement comme la séparation isotopique par laser. Grâce à de récents développements technologiques, l'ultracentrifugation gazeuse retrouve un intérêt économique.

**Fabrication de combustible : besoins et capacités de production dans l'OCDE (tML/an)**

Fuel manufacture: requirements and capacities in OECD countries (tHM/year)

Type de combustible	Capacités 2008	Besoins		
		2008	2015	2020
BWR	1 150 <sup>(6)</sup>	588 <sup>(1)</sup>	1 176 <sup>(1)</sup>	748 <sup>(4)</sup>
FBR MOX	5	0,5	3	5 <sup>(2)</sup>
GCR (Magnox et AGR)	300	86	125	60
HWR	3 410	2 310	2 410	2 710
LWR	650 <sup>(5)</sup>	2 721 <sup>(3)</sup>	2 726 <sup>(3)</sup>	2 871 <sup>(3)</sup>
PWR	3 074 <sup>(6)</sup>	2 483	2 582	2 330
LWR MOX	145	130	135 <sup>(2)</sup>	120 <sup>(2)</sup>
<b>Total</b>	<b>8 734<sup>(6)</sup></b>	<b>8 318</b>	<b>9 157</b>	<b>8 844<sup>(2)</sup></b>

(1) Hors USA et Allemagne - Except USA and Germany

(2) Hors Japon - Except Japan

(3) Dont BWR USA et Allemagne - Including BWR USA and Germany

(4) Hors USA, Allemagne et Japon - Except USA, Germany and Japan

(5) Allemagne uniquement - Only Germany

(6) Hors USA - Except USA

Hors données non disponibles - Except not available data

Source : Données sur l'énergie nucléaire, AEN éd. 2009

**Usines de traitement des combustibles usés**

Used fuel reprocessing units

Pays	Site	Capacité t/an	Combustible	Mise en service
<b>Capacités existantes</b>				
	France	La Hague UP2 La Hague UP3	800 800	oxyde oxyde
Royaume-Uni	Sellafield (Thorp) <sup>(1)</sup>	900	oxyde	1994
Inde	Tarapur	60	filière eau lourde ou oxyde	1982
Russie	Chelyabinsk <sup>(2)</sup>	400	oxyde	1984
<b>Réalisations en cours</b>				
Inde	Kalpakkam	100	filière eau lourde	
Japon	Rokkashomura	800	oxyde	2010

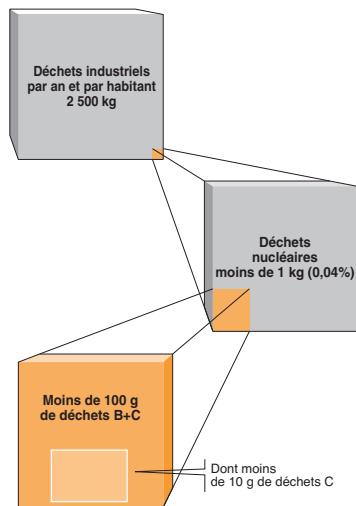
(1) Thermal oxide reprocessing plant

(2) La capacité est limitée à 250 t/an par l'Autorité de sûreté

Source : CEA et AREVA

## Les déchets produits en France

Voir en page 55 la définition des déchets de type A, B et C.



Source : CEA

## Les déchets radioactifs

L'utilisation des propriétés des radioéléments, que ce soit pour la production d'énergie, la recherche nucléaire, l'industrie ou la santé, génère des déchets. Ces résidus non utilisables sont essentiellement caractérisés par la présence de produits radioactifs, donc émetteurs de rayonnements. En France, plusieurs milliers de personnes travaillent à leur gestion (tri, traitement, conditionnement, transport, entreposage ou stockage) : techniciens, ingénieurs, agents de radioprotection, agents de surveillance..., selon des procédures et des méthodes codifiées et sous le contrôle des autorités publiques.

Le CEA a mis ses efforts en commun avec d'autres partenaires, et notamment l'Andra (Agence nationale chargée de la gestion des déchets radioactifs) pour remettre au gouvernement, en juin 2005, les rapports finaux sur 15 années de recherche, en accord avec la loi « Bataille » du 30 décembre 1991. La « loi de programme » n°2006-739 datée du 28 juin 2006 est relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs.

Pour le CEA, elle concerne toutes les activités, de recherche, gestion, démantèlement, ingénierie, exploitation et information sur les déchets. Posant, dans son principe, que « la gestion durable des matières et des déchets radioactifs de toute nature (...) est assurée dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement » la nouvelle loi stipule, dans son article 3, que les recherches et études relatives

aux déchets radioactifs à vie longue de haute ou de moyenne activité sont poursuivies selon trois axes complémentaires :

1. La séparation et à la transmutation des éléments radioactifs à vie longue, conduites sur les nouvelles générations de réacteurs nucléaires ainsi que sur les réacteurs pilotés par accélérateur dédiés à la transmutation des déchets. Objectif affiché : disposer d'une évaluation des perspectives industrielles de ces filières en 2012 et mettre en exploitation un prototype d'installation avant le 31 décembre 2020.

2. Le stockage en couche géologique profonde, avec l'objectif de concevoir un centre de stockage réversible et de conduire au choix d'un site, sa date de mise en exploitation fixée à 2025.

3. La création ou la modifications d'installations d'entreposage, pour 2015, afin de répondre aux besoins, notamment en termes de capacité et de durée .

L'Andra voit sa mission élargie, sur notamment les sites de pollution radioactive ou encore sur la coordination des recherches et études qu'elle réalisera (ou fera réaliser) sur le stockage profond mais aussi sur l'entreposage.

Les pouvoirs publics (Ministères chargés de l'Industrie (Direction de l'énergie), de l'Environnement et de la Recherche) ont confié au CEA le pilotage des recherches sur les axes 1 et 3. Les recherches sur l'axe 2 étaient coordonnées par l'Andra. Ces rapports proposent au gouvernement un ensemble de solutions scientifiques et techniques en matière de gestion des déchets nucléaires.

La classification des déchets nucléaires dépend de deux paramètres :

- leur radioactivité, c'est-à-dire leur impact potentiel sur l'homme et l'environnement. Elle se mesure en becquerels (1 Bq = 1 désintégration par seconde). Ces désintégrations correspondent à l'émission d'un rayonnement ou de particules (alpha ou bêta) et s'accompagnent éventuellement d'un rayonnement gamma.
- la décroissance de leur activité en fonction du temps. Au bout d'un temps T (appelé période), la radioactivité d'un élément est divisée par deux. Au bout de deux périodes, il en reste un quart, au bout de trois périodes, un huitième...

### Déchets de haute activité, à vie longue (HAVL)

Après un séjour de 3 ou 4 ans dans le réacteur, les assemblages combustibles, usés, sont déchargés. Ils contiennent des éléments radioactifs dont une partie est réutilisable (l'uranium et le plutonium) pour produire de l'énergie (c'est l'option de traitement qui a été choisie par la France depuis 1970), ainsi que de nouveaux éléments issus des réactions nucléaires (les produits de fission et les transuraniens), qui constituent des déchets de haute activité et à vie longue (HAVL).

### Déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FA et MA)

Indépendamment du cœur du réacteur et notamment du combustible nucléaire lui-même, d'autres déchets sont générés. Ce sont essentiellement des résidus ou des objets usagés résultant du fonctionnement des centrales nucléaires, des usines de traitement ou des centres de recherche nucléaire (vêtements, gants, chiffons, papiers, filtres, outillages, joints...).

On trouve aussi des déchets provenant de la médecine (seringues, flacons...), des laboratoires (flacons, objets contaminés...), de l'industrie (sources usées...). Ces déchets qui constituent 90 % du volume total sont classés parmi les déchets de faible et moyenne

activité à vie courte (FMA). Les déchets de moyenne activité et à vie longue (MAVL) comprennent également les gaines du combustible, les pinces ou les appareillages contaminés lors des opérations de traitement par des éléments radioactifs de longue période.

#### Déchets de très faible activité à vie courte

Plus largement encore, des matériaux issus de sites industriels à l'occasion de leur réhabilitation ou de leur démantèlement (bétons, plâtres, briques, ferrailles, vannes, tuyauteries...) et qui font l'objet d'un suivi précis dès leur production sont classés parmi les déchets de très faible activité à vie courte (TFA).

#### Déchets radifères et graphites

On recense également les déchets radifères et graphites. Les premiers sont des déchets minéraux contenant des éléments radioactifs naturels (uranium, thorium, radium...) issus du traitement de minerais, et de travaux d'enlèvement de terres contaminées lors de la réhabilitation de sites pollués anciens. Les seconds sont des déchets solides issus de la première génération de centrales nucléaires françaises.

Les déchets à vie courte, qui constituent 90 % du total, sont stockés en surface dans deux centres gérés par l'Andra, implantés dans la Manche et dans l'Aube.

Les déchets à vie longue sont conditionnés et entreposés sur leurs lieux de production, centrales nucléaires ou usines de traitement des combustibles de La Hague et de Marcoule, dans des structures de surface spécialement aménagées ou dans des puits bétonnés. Les déchets de haute activité à vie longue font l'objet d'importantes recherches (notamment pour les actinides mineurs et produits de fission).

Un centre de stockage, jouxtant celui de l'Aube, est spécifiquement dédié aux déchets de très faible activité, issus principalement du démantèlement des installations nucléaires.

#### Principaux éléments contenus dans les combustibles usés

(en kg/tonne de combustible REP 1 300, après 3 ans de refroidissement)

Main elements comprised in used fuel (kg/t of PWR 1300 fuel, after 3 years of cooling)

#### Actinides

Np	0,43
Pu	10
Am	0,38
Cm	0,042

**TOTAL 10,852 kg**

#### Uranium

**TOTAL 935,548 kg**

#### Produits de fission

##### Fission products

Kr, Xe	6,0	Ru, Rh, Pd	0,86
Cs, Rb	3,1	Ag, Cd,	
Sr, Ba	2,5	In, Sn, Sb	0,25
Y, La	1,7	<b>Autres</b>	
Zr	3,7	Ce	2,5
Se, Te	0,56	Pr	1,2
Mo	3,5	Nd	4,2
I	0,23	Sm	0,82
Tc	0,23	Eu	0,15

**TOTAL 35,6 kg**

Source : CNE

#### Classification des déchets

##### Waste classification

Classification des déchets	Particularités	Origine	Proportion	Mode de traitement envisagé
Déchets TFA très faible activité		Démantèlement des installations nucléaires		Recyclage ou décharge dédiée à l'Andra CEA : entreposage des déchets sur le centre de Cadarache
Déchets FA faible activité de catégorie A	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rayonnements bêta et gamma</li> <li>• Période inférieure ou égale à 30 ans</li> <li>• Rayonnement alpha d'activité inférieure ou égale à 3 700 Bq/g</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installations nucléaires : gants, filtres, résines...</li> <li>• Laboratoires de recherche</li> <li>• Utilisateurs de radioéléments dans les milieux médicaux et industriels &gt; vêtements, gants, papier, gravats, petit matériel</li> </ul>	Pour 1 kg de déchets radioactifs produits, les déchets de catégorie A représentent 900 g.	Stockage de surface (Manche et Aube par l'Andra)
Déchets MA moyenne activité de catégorie B	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rayonnement alpha d'activité supérieure à 3 700 Bq/g</li> <li>• Période supérieure à 30 ans jusqu'à plusieurs dizaines de milliers d'années</li> </ul>	Actinides (américium, curium, neptunium)	Ils constituent 95 g sur un total de 1 kg.	Entreposage intermédiaire et provisoire
		Déchets solides technologiques : boues issues des stations de traitement des effluents, concentrats, gaines, embouts de combustibles		Stabilisés au sein de matrices (bitume, ciment)
		Déchets MAVL (à vie longue) usines du cycle du combustible (fabrication, traitement) et centres de recherche CEA		Entreposage intermédiaire et provisoire
Déchets HA haute activité de catégorie C	Rayonnements alpha, bêta et gamma supérieurs à 30 ans, jusqu'à plusieurs dizaines de milliers d'années	Produits de fission (iode 129, césium 135, technétium 99) et d'activation issus du traitement des combustibles usés.	Ils représentent 5 g de déchets radioactifs sur un total de 1 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vitrification</li> <li>• Entreposage intermédiaire et provisoire)</li> <li>• Séparation poussée</li> <li>• Transmutation (pour le plutonium)</li> <li>• Recyclage (pour le Mox)</li> </ul>

**Déchets ultimes issus du traitement du combustible d'un REP 1 000 MWe**  
Ultimate waste from fuel reprocessing for a 1000 MWe PWR unit

Déchets conditionnés pour le stockage				
Déchets de procédé	Activité (GBq/an)		Matériaux d'incorporation ou d'enrobage	Volume (m <sup>3</sup> /an)
	Émetteurs β, γ	Émetteurs α		
Solution de produits de fission	270.10 <sup>6</sup>	3,5.10 <sup>6</sup> (1)	Verre	3
Déchets de structures (coques et embouts) et déchets technologiques de zone 4 (2)	12,5.10 <sup>6</sup>	18 500	Compacté	5
Boues de traitement des effluents liquides	0	0	-	0
Déchets technologiques de zones 2 et 3	52	négligeable	Ciment	20

(1) Dont plus de 99,5 % de transuraniens (moins de 0,5 % de plutonium).  
(2) Les zones 4, 3 et 2 correspondent à un risque potentiel décroissant de dissémination radioactive.  
Source : AREVA

**Effluents annuels dus au traitement du combustible d'un REP 1 000 MWe**  
Waste generated annually by reprocessing the fuel of a 1000 MWe PWR unit

	Activité (GBq/an)
<b>Effluents gazeux</b>	
Krypton 85	45.10 <sup>5</sup>
Iode 131	1,7.10 <sup>-2</sup>
Iode 129	0,25
Tritium	1 125
<b>Effluents liquides</b>	
Émetteurs β, γ	580
Tritium	175 000
Émetteurs α	0,7

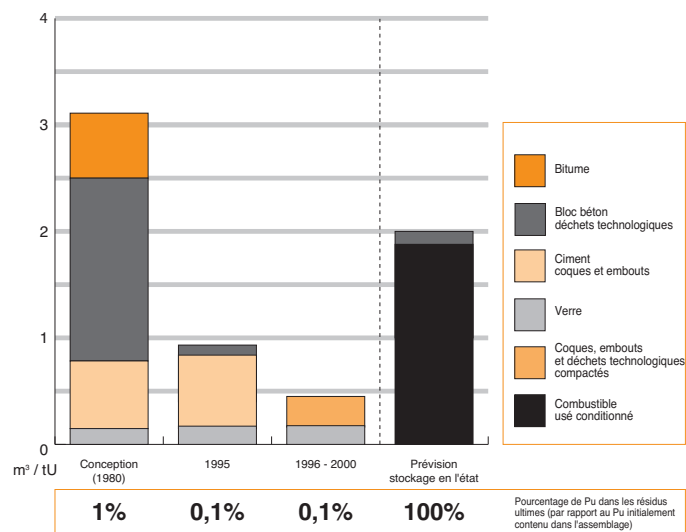
Source : AREVA

**Effluents et déchets produits en 1996 par les centrales nucléaires françaises**  
Total amount of waste generated by the French nuclear power plants in 1996

<b>Effluents gazeux</b> (GBq/TWh)	Gaz rares	867
	Aérosols + halogènes	0,009
<b>Effluents liquides</b> (GBq/TWh)	Hors tritium	0,22
	Tritium	1,778
<b>Déchets solides</b> (m <sup>3</sup> /TWh)		20

Source : CEA d'après CEPN

**Volumes de résidus générés dans UP3\***  
(Déchets à période longue après conditionnement)  
Volume of waste generated in the UP3 reprocessing plant



\* UP3 : Usine de production, située à La Hague



### Production cumulée de déchets radioactifs

#### DECHETS « A »

Le centre de stockage de la Manche est saturé à 530 000 m<sup>3</sup> environ.  
Le centre de stockage de l'Aube, ouvert depuis 1992 accueille de l'ordre de 12 000 m<sup>3</sup> par an en provenance principalement de EDF, Cogema, CEA, mais également d'autres organismes français.

#### DECHETS « B » ET « C »

Les projections actuelles donnent des valeurs cumulées en 2020 de 57 000 m<sup>3</sup> (cube de 38,5 m d'arête) de déchets B et 5 000 m<sup>3</sup> de déchets C, pour l'ensemble des acteurs français.

## INFORMATIONS GÉNÉRALES

### GENERALITIES

## L'HOMME ET LES RAYONNEMENTS

### Quelques définitions

**Atome** : dans la nature, la matière (eau, gaz, roche, êtres vivants) est constituée de molécules, qui sont des combinaisons d'atomes. Les atomes comprennent un noyau chargé positivement, autour duquel se déplacent des électrons chargés négativement. L'atome est neutre. Le noyau de l'atome comprend des protons chargés positivement, et des neutrons. C'est lui qui se transforme en émettant un rayonnement lorsque la radioactivité d'un atome se manifeste.

**Élément** : constituant commun aux substances à partir desquelles la matière est formée. Il ne peut être décomposé en substances plus simples, c'est-à-dire de poids plus faible, ni synthétisé à partir de ces substances par des réactions chimiques ordinaires. Il n'existe que 92 éléments naturels. Chaque élément est composé par un nom particulier et par son numéro atomique Z. Z est le nombre de protons du noyau atomique. C'est aussi le nombre d'électrons de l'atome.

**Irradiation** : exposition aux rayonnements.

**Isotope** : tous les atomes dont les noyaux ont le même nombre de protons forment un élément chimique. Lorsqu'ils ont des nombres de neutrons différents, on appelle ces atomes « isotopes ». On désigne chaque isotope d'un élément donné par le nombre total de ses nucléons : protons et neutrons.

**Neutron** : particule élémentaire neutre (non chargée) constitutive avec les protons des noyaux des atomes.

**Nucléide** : noyau atomique caractérisé par son nombre de masse, son nombre atomique et son état énergétique.

**Particules  $\alpha$**  : noyaux d'hélium (2 protons, 2 neutrons).

**Particules  $\beta$**  : électrons (négatifs ou positifs).

**Période radioactive** : temps au bout duquel la moitié des atomes radioactifs initialement présents a disparu par transformation spontanée. La période varie d'un radionucléide à l'autre.

**Radioactivité** : propriété de certains nucléides d'émettre spontanément des particules ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) et/ou un rayonnement gamma ou X.

**Radioélément** : élément dont tous les isotopes sont radioactifs.

**Radionucléide** : nucléide radioactif.

**Rayonnement** : processus de transmission d'énergie sous forme corpusculaire (particules) ou électromagnétique.

**Rayonnement électromagnétique** : défini par la propagation d'un champ électrique et d'un champ magnétique associés, plus ou moins rapidement variables, et caractérisé par sa longueur d'onde. Par exemple (par ordre de longueur d'onde décroissante) : ondes hertziennes, rayons infrarouges, lumière visible, rayons ultraviolets, rayons X, rayons  $\gamma$ .

**Rayonnement ionisant** : rayonnement électromagnétique ou corpusculaire (particules) capable de produire, directement ou indirectement, des ions (atomes ou molécules de charge électrique non nulle) lors de son passage à travers la matière.

**Rayonnement X et  $\gamma$**  : rayonnements ionisants électromagnétiques pénétrants mais peu ionisants. Leurs longueurs d'onde sont de l'ordre ou inférieures au nanomètre. Ils sont formés lors de phénomènes physiques se déroulant pour les X au niveau du cortège électronique de l'atome et pour les  $\gamma$  au niveau du noyau de l'atome.

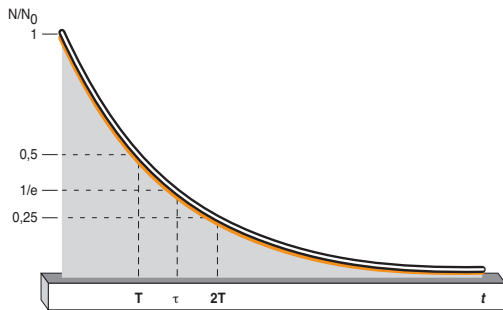
### Grandeurs et unités propres aux rayonnements ionisants Physical units for ionizing radiation

Grandeurs	Unités	Équivalences	Définitions
<b>ACTIVITÉ</b>	Becquerel (Bq)	1 Bq = 27 picocuries	Grandeur représentant le nombre de désintégrations par seconde au sein d'une matière radioactive
	Curie (Ci)	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq	
<b>DOSE ABSORBÉE</b>	Gray (Gy)	1 Gy = 1 joule/kg = 100 rad	Quantité d'énergie communiquée à la matière par unité de masse
	Rad (rad)	1 rad = $10^{-2}$ Gy	
<b>ÉQUIVALENT DE DOSE</b>	Sievert (Sv)	1 Sv = 100 rem	Grandeur utilisée en radioprotection pour tenir compte de la différence d'effet biologique des divers rayonnements
	Rem	1 rem = $10^{-2}$ Sv	
<b>DÉBIT DE DOSE ABSORBÉE</b>	Gray par heure	1 Gy/h = 100 rad/h	Quantité d'énergie transmise à la matière irradiée par unité de masse et par unité de temps
	Rad par heure	1 rad/h = $10^{-2}$ Gy/h	
<b>DÉBIT D'ÉQUIVALENT DE DOSE</b>	Sievert par heure	1 Sv/h = 100 rem/h	Grandeur utilisée en radioprotection pour tenir compte de la différence d'effet biologique des divers rayonnements par unité de temps
	Rem par heure	1 rem/h = $10^{-2}$ Sv/h	

La réglementation française (Code de la santé publique et Code du travail), conformément à la directive 96/29/Euratom du 13 mai 1996, fixe les limites d'équivalent de dose efficace annuelle :

- à 20 mSv/an pour les travailleurs (industrie nucléaire, radiologie médicale), décret 2003-296 du 31 mars 2003 ;
- à 1 mSv/an pour le public, décret 2001-215 du 8 mars 2001.

Décroissance de la radioactivité d'un radioélément, vie moyenne, période  
Radioactive decay, mean life, half life



Décroissance exponentielle d'un radioélément :  $N_0$  atomes sont présents au temps  $t = 0$ . Au bout d'un temps  $T$  (la période), il n'en subsiste que la moitié ; au bout de  $2T$ ,  $1/4$  et ainsi de suite. La vie moyenne est  $\tau$ .

Périodes effectives de quelques corps radioactifs  
Effective half life for some radioelements

	Période radioactive	Période effective approximative
Carbone 14	5 730 ans	12 jours
Césium 137	30,2 ans	70 jours
Cobalt 60	5,3 ans	10 jours
Iode 131	8 jours	8 jours
Plutonium 239	24 110 ans	50 ans
Potassium 40	1,26 milliard d'années	30 jours
Strontium 90	29 ans	15 ans
Tritium	12,32 ans	12 jours

Source : D'après « Handbook of radiation measurement and protection », Allen Brodsky, CRC Press Ed.

Pour chaque radioélément, par analogie avec la période physique, la période biologique est le temps nécessaire à l'organisme pour éliminer la moitié de la quantité initialement absorbée. La décroissance radioactive et l'élimination biologique concourent à faire décroître l'irradiation dans l'organisme. La **période effective** est définie comme le temps requis pour que l'activité entrée à l'origine ait décré de moitié. Les périodes effective ( $T_e$ ), radioactive ( $T_r$ ) et biologique ( $T_b$ ) sont reliées par la formule :  $\frac{1}{T_e} = \frac{1}{T_r} + \frac{1}{T_b}$

Pouvoir de pénétration des rayonnements ionisants  
Radiation ionizing stopping power

**Particules alpha ( $\alpha$ )**

Noyaux d'hélium (2 protons, 2 neutrons). Pénétration très faible dans l'air. Une simple feuille de papier est suffisante pour les arrêter.

**Particules bêta moins : électrons ( $\beta$ )**

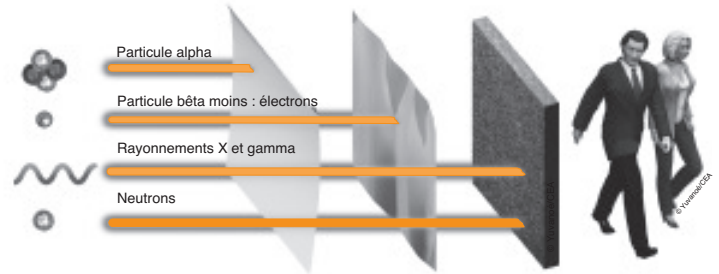
Pénétration faible. Ils parcourent quelques mètres dans l'air. Une feuille d'aluminium de quelques millimètres peut arrêter les électrons.

**Rayonnements X et gamma ( $\gamma$ )**

Pénétration très grande, fonction de l'énergie du rayonnement : plusieurs centaines de mètres dans l'air. Une forte épaisseur de plomb ou de béton permet de s'en protéger.

**Neutrons**

Pénétration dépendante de leur énergie. Une forte épaisseur de béton, d'eau ou de paraffine arrête les neutrons.





Exposition moyenne mondiale aux sources naturelles d'irradiation  
World average exposure from natural sources

Source d'exposition	Dose effective annuelle (mSv)	
	Moyenne	Domaine de variation typique
<b>Rayonnement cosmique</b>		
Composante directement ionisante et photonique	0,28	
Composante neutronique	0,10	
Radionucléides cosmogéniques	0,01	
Exposition cosmique et cosmogénique totale	0,39	0,3 - 1,0 (a)
<b>Irradiation externe tellurique</b>		
En plein air	0,07	
Dans les bâtiments	0,41	
Exposition externe tellurique totale	0,48	0,3 - 0,6 (b)
<b>Inhalation</b>		
Séries uranium et thorium	0,006	
Radon (222 Rn)	1,15	
Thoron (220 Rn)	0,10	
Exposition totale par inhalation	1,26	0,2 - 10 (c)
<b>Ingestion</b>		
Potassium 40 ( <sup>40</sup> K)	0,17	
Séries uranium et thorium	0,12	
Exposition totale par ingestion	0,29	0,2 - 0,8 (d)
<b>Total</b>	<b>2,4</b>	<b>1 - 10</b>

(a) Du niveau de la mer à haute altitude.

(b) Selon la composition du sol et des matériaux de construction.

(c) Selon l'accumulation de radon dans les bâtiments.

(d) Selon la nature de la nourriture et de l'eau de boisson.

Source : UNSCEAR

L'activité radioactive - exemples

Examples of natural or human generated activity

L'intensité d'un rayonnement traduit l'activité de la source radioactive émettrice que l'on exprime en becquerel. Un becquerel correspond à la désintégration d'un noyau d'atome par seconde. A l'aide de compteurs appropriés, on mesure instantanément de très faibles comme de très forts niveaux de radioactivité.

Les valeurs d'activité suivantes sont des ordres de grandeur.

Exemples de radioactivité naturelle :

Nature	Activité
Eau de pluie	0,5 Bq par kg
Eau de mer	12 Bq par kg
Terre	1 000 Bq par kg (varie entre 500 et 5 000 Bq par kg selon les terrains)
Pomme de terre	150 Bq par kg
Lait	40 Bq par kg
Engrais phosphatés	5 000 Bq par kg
Homme	130 Bq par kg (8 000 à 10 000 Bq pour un adulte)

Exemples de radioactivité artificielle en médecine :

Nature	Activité injectée au patient
Scintigraphie thyroïdienne	37 millions de Bq (technétium 99 métastable)
Scintigraphie osseuse	550 millions de Bq (technétium 99 métastable)
Scintigraphie myocardique	74 millions de Bq (thallium 201)

Exemple de radioactivité artificielle dans l'industrie nucléaire :

Nature	Activité
Combustible usé en sortie de réacteur (1/4 de cœur déchargé)	10 <sup>18</sup> Bq = 10 milliards de milliards de Bq

Source : Andra

## RADIOPROTECTION ET SÛRETÉ NUCLÉAIRE

### Institutions internationales

- l'**AIEA** (Agence internationale pour l'énergie atomique), fondée en 1957, au sein de l'organisation des Nations unies, s'assure que les dispositions de sécurité, tant au niveau de la conception que de l'exploitation des installations, sont satisfaisantes. L'AIEA anime, à la demande des autorités nationales, des missions d'évaluation de la sûreté des installations nucléaires, appelées OSART ;
- l'**IAEA**, l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE, favorise entre les États les échanges d'informations à la fois techniques, scientifiques et juridiques sur la production et l'utilisation de l'énergie nucléaire ;
- l'**Euratom** ou CEEA (Communauté européenne de l'énergie atomique), instituée en 1957, offre un cadre privilégié de coopération, notamment dans le domaine de la R&D des industries nucléaires. C'est en vertu du traité Euratom que la Commission de Bruxelles élabore des normes de base en matière de radioprotection.

### Loi sur la transparence et la sécurité en matière nucléaire

La Loi du 13 juin 2006 renouvelle l'encadrement des activités nucléaires dans un dispositif juridique cohérent et complet. Son objectif est de :

- créer une Autorité de sûreté nucléaire en autorité administrative indépendante ;
- définir les principes de l'information du public en matière de sécurité nucléaire ;
- offrir un cadre légal aux Commission locales d'information ;
- instituer un Haut comité de la transparence ;
- encadrer les autorisations des activités nucléaires et leur contrôle.

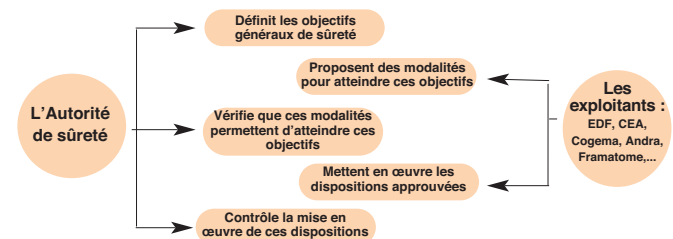
### L'Autorité de sûreté

L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) est une autorité administrative indépendante chargée de contrôler l'ensemble des activités nucléaires exercées en France dans le domaine civil. Elle assure, au nom de l'État, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France pour protéger les travailleurs, les patients, le public et l'environnement des risques liés à l'utilisation du nucléaire.

**Organisation :** L'ASN se compose d'une commission, d'un comité exécutif, de conseillers, de services centraux constitués de sept sous-directions et de onze délégations régionales.

**Missions :** Elles s'articulent autour de ses trois métiers « historiques » : la réglementation, le contrôle et l'information du public.

### Principes du contrôle de la sûreté nucléaire en France



Source : DSIN

### Classement des incidents : l'échelle INES

INES (International Nuclear Event Scale) est une échelle de gravité des événements nucléaires destinée à faciliter la perception par les médias et le public de l'importance des incidents et des accidents nucléaires.

Sur la base de la proposition française, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a mis à l'essai dans les pays membres un nouveau volet de l'échelle INES relatif aux incidents de radioprotection, prenant en compte les sources radioactives et les transports de matières radioactives. Il intègre le principe de la relation entre le risque radiologique et la gravité de l'événement. Dans un premier temps, la France a limité l'expérience d'application systématique de cette nouvelle échelle aux installations nucléaires de base dans l'optique d'une utilisation ultérieure élargie aux installations médicales, industrielles ou de recherche.

Source : asn.gouv.fr

### Structure fondamentale de l'échelle INES

Critères liés à la sûreté			
	Conséquences à l'extérieur du site	Conséquences à l'intérieur du site	Dégradation de la défense en profondeur
<b>7 Accident majeur</b>	Rejet majeur : effets étendus sur la santé et l'environnement		
<b>6 Accident grave</b>	Rejet important susceptible d'exiger l'application intégrale des contre-mesures prévues		
<b>5 Accident</b>	Rejet limité susceptible d'exiger l'application partielle des contre-mesures prévues	Endommagement grave du cœur de réacteur / des barrières radiologiques	
<b>4 Accident</b>	Rejet mineur : exposition du public de l'ordre des limites prescrites	Endommagement important du cœur de réacteur / des barrières radiologiques / exposition mortelle d'un travailleur	
<b>3 Incident grave</b>	Très faible rejet : exposition du public représentant une fraction des limites prescrites	Contamination grave / effets aigus sur la santé d'un travailleur	Accident évité de peu / perte des barrières
<b>2 Incident</b>		Contamination importante / surexposition d'un travailleur	Incidents assortis de défaillances importantes des dispositions de sécurité
<b>1 Anomalie</b>			Anomalie sortant du régime de fonctionnement autorisé
<b>0 Ecart</b>	Aucune importance du point de vue de la sûreté		
<b>Evénements hors échelle</b>	Aucune pertinence du point de vue de la sûreté		

Source : ASN

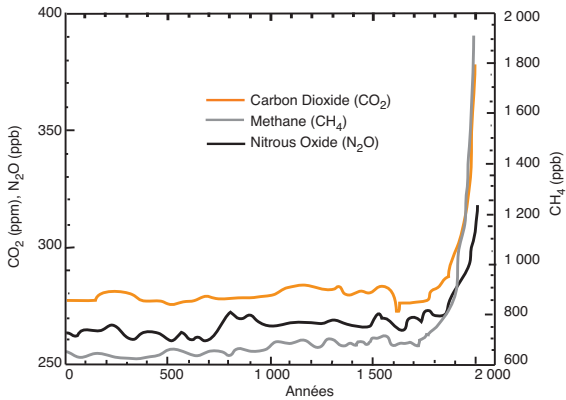
## ENVIRONNEMENT

### Qu'est-ce que l'effet de serre ?

L'effet de serre est la capacité des gaz composant l'atmosphère à laisser passer dans un sens le rayonnement solaire et dans l'autre sens à absorber et renvoyer dans toutes les directions le rayonnement infrarouge émis par la terre, ce qui induit un réchauffement du sol. Cet effet existe à l'état naturel puisque la température moyenne à la surface de la terre, qui est de 15°C, serait sans celui-ci de -18°C. Chaque gaz est caractérisé par un pouvoir de réchauffement global PRG, dépendant de sa propre capacité à absorber les rayonnements ainsi que de sa durée de séjour dans l'atmosphère. Afin de comparer les gaz entre eux, on utilise le PRG relatif d'un gaz, c'est-à-dire le PRG ramené, à concentration égale, à celui du CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone). Le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O ont des PRG relatifs nettement plus importants que le CO<sub>2</sub> (cf tableau) mais bien moindres que ceux des autres gaz. Concernant les CFC, leur production est interdite depuis la Conférence de Montréal, mais leurs substituts, HCFC et HFC, s'ils préservent la couche d'ozone, ne sont pas moins redoutables pour l'effet de serre. C'est pourquoi un amendement a été apporté au Protocole de Montréal (et relayé dans la législation communautaire) visant notamment à arrêter en 2004 la production de HCFC dans les pays développés.

### Evolution des concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre au cours du temps (GIEC 2007)

#### History of greenhouse gas atmospheric rate (IPCC 2007)



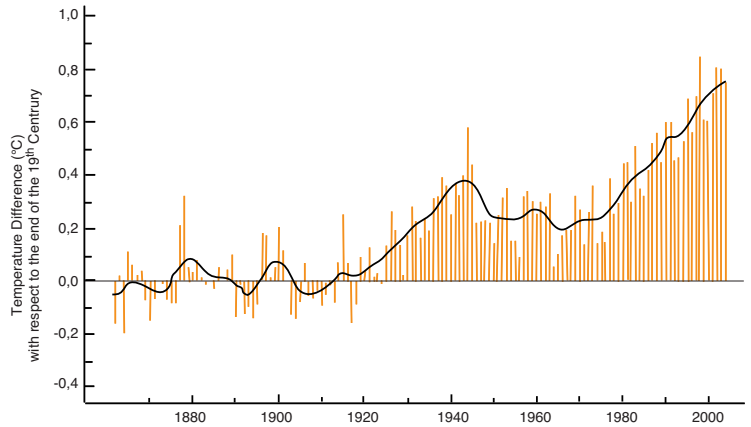
ppm = partie par million  
ppb = partie par milliard (billion en anglais)

Gaz	Pouvoir global de réchauffement relatif / CO <sub>2</sub> à un horizon de 100 ans
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	25
N <sub>2</sub> O	298

Source : Giec 2007

### Variation de la température moyenne de la surface terrestre par rapport à 1861

#### Change in average surface temperature compared to 1861



Source: Hadley Center for Climate Prediction and Research

### Prévisions en fonction du niveau à l'équilibre de CO<sub>2</sub> de l'augmentation de la température globale moyenne d'équilibre à la surface terrestre rapport au niveau pré-industriel (°C)

Estimations according to CO<sub>2</sub> equilibrium of the global average Earth's surface temperature increasing compared to pre-industrial level (°C)

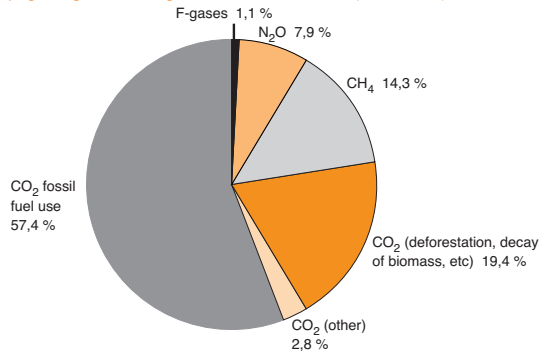
Equilibre CO <sub>2</sub> -eq (ppm)	Meilleure estimation	Très probablement* au dessus	Probablement** dans la plage
350	1,0	0,5	0,6-1,4
450	2,1	1	1,4-3,1
550	2,9	1,5	1,9-4,4
650	3,6	1,8	2,4-5,5
750	4,3	2,1	2,8-6,4
1 000	5,5	2,8	3,7-8,3
1 200	6,3	3,1	4,2-9,4

\* probabilité > 0,9  
\*\* probabilité > 0,66  
Source : GIEC 2007



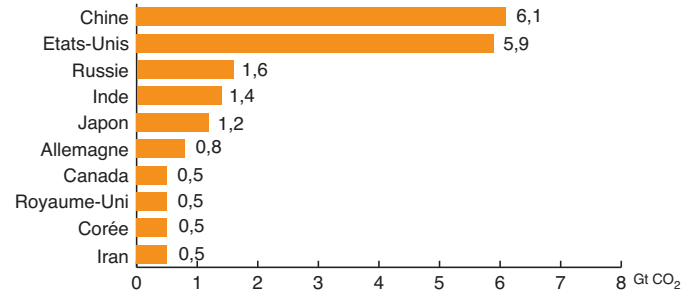
Répartition des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'origine anthropogénique en 2004 (GIEC 2007)

World anthropogenic greenhouse gases emissions in 2004 (IPCC 2007)



Les plus gros émetteurs de CO<sub>2</sub> en 2007

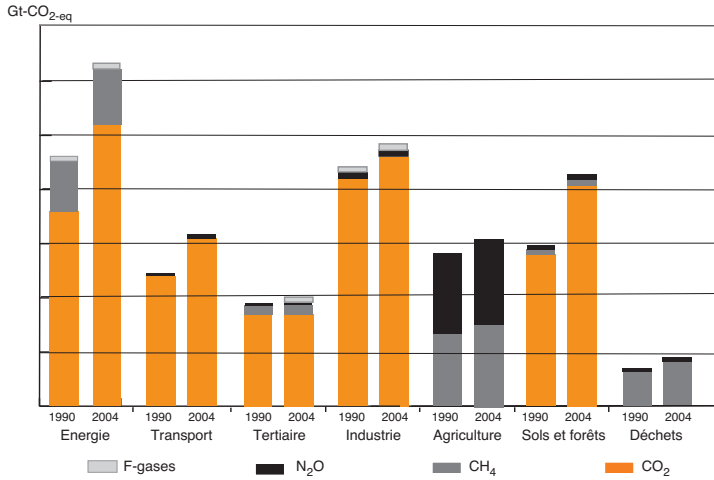
The 10 biggest CO<sub>2</sub> emitters in 2007



Source : CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion, AIE, éd. 2007

Emissions de gaz à effet de serre par secteur en 1990 et 2004 (GIEC 2007)

Green House Gases emissions by sector in 1990 and 2004 (IPCC 2007)



Emissions types de la production électrique

(Valeurs pour les kWh d'EDF\*)

Filières	Emissions** (g équiv. CO <sub>2</sub> /kWh)
Eoliennes ***	12
Nucléaire	4
Hydraulique fil de l'eau	6
Hydraulique retenue	7
Hydraulique pompage	123
TAC turbine à combustion	1 335
Diesels	908
Charbon 600 MW	1 002
Fioul	1 100
Charbon 250 MW	1 060
Gaz haut fourneau	1 326

\* Résultats issus d'études ACV

\*\* Les émissions considérées sont les principaux gaz contribuant à l'effet de serre. La pondération par leur potentiel de réchauffement global respectif, à horizon 100 ans, permet d'obtenir l'indicateur exprimé en équivalent CO<sub>2</sub>.

\*\*\* : les valeurs retenues sont celles publiées par Ecolinvent centre 2004

Source : Profil Environnemental du kWh EDF; EDF 05/2010 ; coefficients 2010 d'après données filières 2008 sur www.edf.fr

**Principaux événements sur les changements climatiques**

**Au niveau mondial,**

- Mai 1992 : lors de la conférence de Rio de Janeiro, adoption par les Nations Unies de la convention-cadre sur les changements climatiques (CCNUCC)
- Décembre 1997 : ratification du Protocole de Kyoto
- Février 2005 : entrée en vigueur du protocole de Kyoto
- Octobre 2006 : parution du rapport Stern
- Novembre 2007 : parution du 4<sup>e</sup> rapport du GIEC
- Décembre 2007 : au cours des négociations de l'ONU à Bali, accord sur une feuille de route pour les deux années à venir pour préparer le cadre post-2012
- Décembre 2008 : autre étape préparatoire à Poznan des futures négociations de Copenhague visant à établir un nouvel accord post-Kyoto
- Décembre 2009 et janvier 2010 : négociations de Copenhague, annonce, par certains pays (dont tous ceux de l'Annexe 1), d'objectifs non contraignants de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour 2020 et, par d'autres, de plans d'actions domestiques.

**Au niveau européen,**

- Juin 2000 : lancement du Programme européen sur le Changement Climatique (PECC)
- Janvier 2005 : entrée en vigueur du système européen d'échange des quotas d'émissions de gaz à effet de serre (EU-ETS)
- Octobre 2005 : lancement du second programme européen sur le changement climatique (PECC II)
- Janvier 2007 : annonce par la Commission Européenne d'un objectif à l'horizon 2020 de 20 % de réduction des gaz à effet de serre, avec une augmentation de 20 % de l'efficacité énergétique, et une part de 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique totale, dont 10 % de biocarburants dans la consommation totale des véhicules
- Janvier 2008 : présentation par la Commission européenne d'une proposition de mise en œuvre des mesures annoncées en 2007 (paquet énergie-climat)
- Décembre 2008: adoption du paquet énergie-climat en codécision par le Conseil et le Parlement européen.

**Au niveau français,**

- Juillet 2005 : adoption de la loi Pope (Programmation fixant les Orientations de la Politique Énergétique de la France)
- Juillet - Décembre 2007 : Grenelle de l'Environnement
- 2009 (resp. 2010): adoption de la loi Grenelle I (resp. II) par le Sénat et l'Assemblée nationale.

**La conférence de Kyoto**

Dans le prolongement de la Conférence de Rio de Janeiro de 1992 sur l'Environnement et le Développement (CNUED), 159 pays se sont réunis à Kyoto du 2 au 11 décembre 1997 pour adopter un protocole international de lutte contre les changements climatiques attendus.

Les pays dits de « l'annexe B » se sont engagés à une réduction globale de 5,5 % de leurs émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990 pendant la période allant de 2008 à 2012.

Les objectifs différenciés par pays (voir tableau ci-dessous pour l'Europe) couvrent six gaz à effet de serre : le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), ainsi que trois substituts des chlorofluorocarbures (CFC, interdits par le protocole de Montréal sur la production de la couche d'ozone) : l'hydrofluorocarbure (HFC), le perfluorocarbure (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>). Les pays en voie de développement ne sont pas concernés par ces engagements chiffrés.

« L'annexe B » est issue de « l'annexe 1 » de la Convention Cadre sur le Changement Climatique (New York 1992) signée à Rio la même année.

Le protocole ne pouvait entrer en vigueur qu'à la condition qu'il ait été ratifié par au moins 55 pays représentant au moins 55 % du volume total des émissions de dioxyde de carbone en

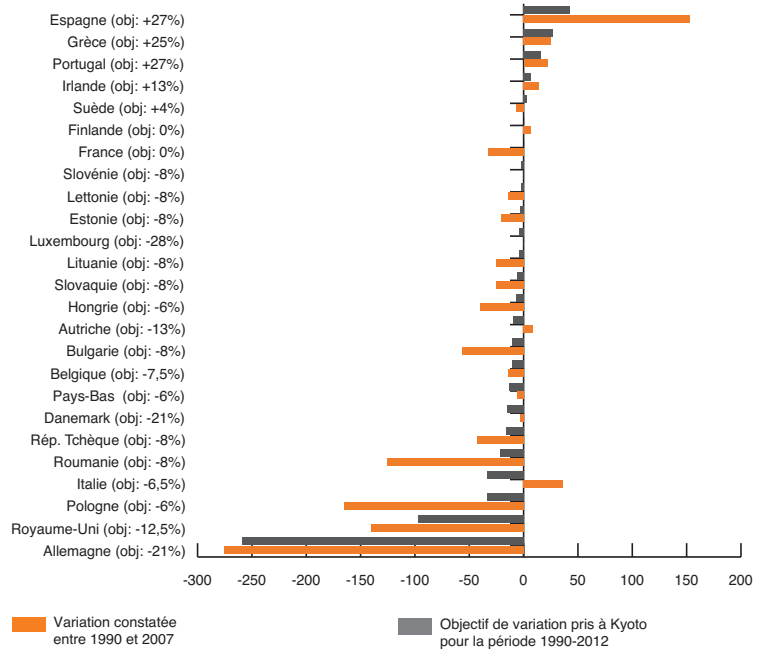
-1990 de l'ensemble des pays figurant dans « l'annexe B ». Aujourd'hui, après la ratification récente de l'Australie au protocole de Kyoto, les Etats-Unis restent le seul pays développé de l'Annexe B à ne pas l'avoir ratifié.

Après l'adhésion de la Russie en novembre 2004, le Protocole de Kyoto prévoit, pour les pays, la possibilité de recourir à des mécanismes dits « de flexibilité » en complément des politiques et mesures qu'ils devront mettre en œuvre au plan national.

Voir [http://www.effet-de-serre.gouv.fr/le\\_protocole\\_de\\_kyoto](http://www.effet-de-serre.gouv.fr/le_protocole_de_kyoto)

**Situation des émissions de gaz à effet de serre des pays de l'UE-27 vis-à-vis des engagements de Kyoto (hors Malte et Chypre sans objectif)**

Situation of greenhouse emissions for European countries toward Kyoto Protocol (Malta and Cyprus excluded)



Source: Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2009, EEA

Situation des émissions de Gaz à effet de serre des pays d'Europe vis-à-vis du Protocole de Kyoto

Situation of greenhouse gas emissions for Europ countries towards Kyoto Protocol

Pays Country	Emissions 1990 (Mt CO <sub>2</sub> éq)	Objectif 2008-2012 par rapport à l'année de référence (%)	Emissions maximales en 2012 (Mt CO <sub>2</sub> équiv)	Emissions 2007	Situation 2007 par rapport à l'année de référence (%)
	1990 emissions	2008-2012 target compared to reference year	2012 maximum emissions	2007 emissions	Situation 2007 compared to reference year
Allemagne Germany	1 232	-21	974	956,1	-22,4
Autriche Austria	79	-13	69	88	11,3
Belgique Belgium	146	-7,5	135	131,3	-10,0
Danemark Denmark	69	-21	55	66,6	-3,9
Espagne Spain	290	15	333	442,3	52,6
Finlande Finland	71	0	71	78,3	10,3
France	564	0	564	531,1	-5,8
Grèce Greece	107	25	134	131,9	23,3
Irlande Ireland	56	13	63	69,2	24,5
Italie Italy	517	-6,5	483	552,8	6,9
Luxembourg	13	-28	10	12,9	-2,3
Pays-Bas Netherlands	213	-6	200	207,5	-2,6
Portugal	60	27	76	81,8	36,1
Royaume-Uni UK	776	-12,5	679	636,7	-18,0
Suède Sweden	72	4	75	65,4	-9,4
Communauté européenne 15 European Community 15	4 266	-8	3 924	4 052	-5
Bulgarie * Bulgaria *	133	-8	122	75,8	-42,8
Chypre ** Cyprus **	6	pas d'objectif no objective	pas d'objectif no objective	10,1	68,3
Estonie Estonia	43	-8	39	22	-48,4
Hongrie * Hungary *	115	-6	108	75,9	-34,2
Lettonie Latvia	26	-8	24	12,1	-53,3
Lituanie Lithuania	49	-8	45	24,7	-50,0
Malte ** Malta **	2	pas d'objectif no objective	pas d'objectif no objective	3	36,4

Source: Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2009, EEA

Pays Country	Emissions 1990 (Mt CO <sub>2</sub> éq)	Objectif 2008-2012 par rapport à l'année de référence (%)	Emissions maximales en 2012 (Mt CO <sub>2</sub> équiv)	Emissions 2007	Situation 2007 par rapport à l'année de référence (%)
	1990 emissions	2008-2012 target compared to reference year	2012 maximum emissions	2007 emissions	Situation 2007 compared to reference year
Pologne * Poland *	563	-6	530	398,9	-29,2
Rép. Tchèque Czech Republic	194	-8	179	150,8	-22,3
Roumanie * Romania *	278	-8	256	152,3	-45,3
Slovaquie Slovak Republic	72	-8	66	47	-34,8
Slovénie * Slovenia *	20	-8	19	20,7	1,5
Union européenne 27 ** European Union 27**	5 572	pas d'objectif no objective	pas d'objectif no objective	5 045	-9
Croatie Croatia	36	-5	34	32	-10
Islande Iceland	3	10	4	5	32
Liechtenstein	0	-8	0	0	0
Norvège Norway	50	1	50	55	11
Suisse Switzerland	53	-8	49	51	-3
Turquie Turkey	170	pas d'objectif no objective	pas d'objectif no objective	373	119

\* Certains pays en transition utilisent des années de référence autres que 1990 : Bulgarie (1988), Hongrie (1985-1987), Pologne (1988), Roumanie (1989), Slovénie (1986).

Some transition countries use different years of reference than 1990: Bulgaria (1988), Hungary (1985-1987), Poland (1988), Roumania (1989), Slovenia (1986).

\*\* L' EU 27, Chypre, Malte et la Turquie n'ont pas d'objectif vis-à-vis du Protocole de Kyoto et donc aucune année légale de référence. Dans ce tableau, les émissions de 1990 servent d' émissions de référence pour eux. The EU 27, Cyprus, Malta and Turkey have no target under the Kyoto Protocol, and therefore no legal base year. In this table, 1990 emissions are used as reference emissions for them..

Nota: les estimations de la Communauté européenne sont notifiées indépendamment de celles de ses Etats membres. Estimations of the European Community are notified independently of its member states.

Source: Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2009, EEA

Monde : évolution des émissions de CO<sub>2</sub> \*

World: evolution of CO<sub>2</sub> emissions \*

Mt CO <sub>2</sub> Mt of CO <sub>2</sub>	1971	1980	1990	2000	2007	%/an 1971- 2007 %/year	%/an 1990- 2007 %/year	% 1990- 2007 %
Amérique du Nord OCDE <sup>(1)</sup> OECD North America <sup>(1)</sup>	4 713	5 434	5 572	6 589	6 846	1,0	1,2	22,9
dont Etats-Unis of which USA	4 275	4 763	4 854	5 715	5 854	0,9	1,1	20,6
Amérique latine Latin America	373	578	632	879	1 024	2,8	2,9	61,9
dont Brésil of which Brazil	94	190	204	313	350	3,7	3,2	72,0
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	3 728	4 218	3 989	3 970	4 101	0,3	0,2	2,8
Union européenne 27 European Union 27	-	-	4 135	3 874	3 971	-	-0,2	-4,0
dont France of which France	435	473	367	360	369	-0,5	0,0	0,5
Europe non-OCDE <sup>(3)</sup> Non OECD-Europe <sup>(3)</sup>	247	375	390	239	277	0,3	-2,0	-29,1
Ex-URSS <sup>(4)</sup> FSU <sup>(4)</sup>	2 369	3 243	3 800	2 271	2 440	0,1	-2,6	-35,8
Moyen-Orient Middle East	131	351	572	977	1 396	6,8	5,4	144,3
Afrique Africa	246	406	602	755	980	3,9	2,9	62,7
Asie Asia	1 316	2 244	3 715	5 261	9 089	5,5	5,4	144,7
dont Chine of which China	877	1 504	2 403	3 093	6 083	5,5	5,6	153,2
dont Inde of which India	198	293	598	978	1 370	5,5	5,0	129,1
Pacifique OCDE <sup>(5)</sup> OECD Pacific <sup>(5)</sup>	982	1 268	1 592	2 009	2 146	2,2	1,8	34,8
Monde World	14 617	18 661	21 474	23 759	29 321	2,0	1,8	36,5
dont OCDE of which OECD	9 423	10 920	11 153	12 568	13 093	0,9	0,9	17,4
dont soutes maritimes of which marine bunkers	345	344	357	466	610	1,6	3,2	71,0
dont soutes aéronautiques of which aviation bunkers	168	201	254	344	412	2,5	2,9	62,3

\* Selon la méthode de référence par l'AIE (cf source) According to the reference method considered by the IEA.

(1) Etats-Unis, Canada, & Mexique USA, Canada, & Mexico

(2) Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays Bas, Pologne, Portugal, République Slovaque, République Tchèque, Royaume Uni, Suède, Suisse, Turquie. Germany, Austria, Belgium, Denmark, Spain, Finland, France, Greece, Hungary, Ireland, Iceland, Italy, Luxembourg, Norway, Netherlands, Poland, Portugal, Slovak Republic, Czech Republic, United Kingdom, Sweden, Switzerland, Turkey.

(3) Albanie, Bulgarie, Chypre, Gibraltar, Malte, Roumanie, Bosnie - Herzégovine, Croatie, République de Macédoine, Serbie et Monténégro, Slovénie Albania, Bulgaria, Cyprus, Gibraltar, Malta, Romania, Bosnia - Herzegovina, Croatia, FYR of Macedonia, Serbia and Montenegro, Slovenia

(4) Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Estonie, Georgie, Kazakhstan, Kirgizstan, Lettonie, Lituanie, Moldavie, Russie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine et Ouzbékistan Armenia, Azerbaijan, Belarus, Estonia, Georgia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lithuania, Moldova, Russia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine & Uzbekistan

(5) Australie, Japon, Corée et Nouvelle Zélande Australia, Japan, Korea and New Zealand  
Source : CO<sub>2</sub> Emission from fuel combustion, AIE, éd. 2009

Monde : émissions de CO<sub>2</sub> par habitant provenant des combustibles fossiles

World: CO<sub>2</sub> emissions per capita from fossil fuels

t CO <sub>2</sub> / habitant t CO <sub>2</sub> / capita	1971	1980	1990	2000	2007
Amérique du Nord OCDE <sup>(1)</sup> OECD North America <sup>(1)</sup>	16,9	16,7	15,6	16,0	15,4
dont Etats-Unis of which USA	20,7	20,5	19,4	20,2	19,1
Amérique latine Latin America	1,5	1,9	1,7	2,1	2,2
dont Brésil of which Brazil	0,9	1,5	1,3	1,7	1,8
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	8,1	8,7	7,9	7,5	7,5
Union européenne 27 European Union 27	-	-	8,6	7,9	7,9
dont France of which France	8,2	8,4	6,1	6,2	5,8
Europe non-OCDE <sup>(3)</sup> Non OECD Europe <sup>(3)</sup>	4,7	6,4	6,5	4,3	5,1
Ex-URSS <sup>(4)</sup> FSU <sup>(4)</sup>	8,2	11,5	12,6	7,7	8,5
Moyen Orient Middle East	1,9	3,7	4,5	5,9	7,2
Afrique Africa	0,7	0,9	0,9	0,8	0,9
Asie hors Chine Asia exclusive of China	0,4	0,6	0,8	1,1	1,4
dont Inde of which India	0,4	0,4	0,7	1,0	1,2
Chine China	1,0	1,4	2,0	2,4	4,6
Pacifique OCDE <sup>(4)</sup> OECD Pacific <sup>(4)</sup>	6,3	7,1	8,4	10,1	10,7
Monde World	3,8	4,1	4,0	3,9	4,4
OCDE OECD	10,6	11,1	10,6	11,1	11,0

(1) Etats-Unis, Canada, & Mexique USA, Canada, & Mexico

(2) Union Européenne 15, Hongrie, Islande, Norvège, Pologne, République Slovaque, République Tchèque, Suisse et Turquie

European Union 15, Hungary, Island, Norway, Poland, Czech Republic, Slovak Republic, Switzerland and Turkey

(3) Albanie, Bulgarie, Chypre, Gibraltar, Malte, Roumanie, Bosnie - Herzégovine, Croatie, République de Macédoine, Serbie, Slovénie Albania, Bulgaria, Cyprus, Gibraltar, Malta, Romania, Bosnia - Herzegovina, Croatia, FYR of Macedonia, Serbia, Slovenia

(4) Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Estonie, Georgie, Kazakhstan, Kirgizstan, Lettonie, Lituanie, Moldavie, Russie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine et Ouzbékistan Armenia, Azerbaijan, Belarus, Estonia, Georgia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lithuania, Moldova, Russia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine & Uzbekistan

(5) Australie, Japon, Corée et Nouvelle Zélande Australia, Japan, Korea and New Zealand  
Source : CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion 1971-2004, AIE, éd. 2009

Monde : émissions de CO<sub>2</sub> par unité de PIB provenant de combustibles fossiles

World: CO<sub>2</sub> emissions per GDP unit from fossil fuels

kg CO <sub>2</sub> / US\$2000 selon PPA kg CO <sub>2</sub> / US\$ using 2000 prices and PPP	1971	1980	1990	2000	2007
Amérique du Nord OCDE <sup>(1)</sup> OECD North America <sup>(1)</sup>	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5
dont Etats-Unis of which USA	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5
Amérique latine Latin America	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
dont Brésil of which Brazil	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	0,7	0,6	0,4	0,4	0,3
Union européenne 27 European Union 27	-	-	0,5	0,4	0,3
dont France of which France	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>
Europe non OCDE <sup>(3)</sup> Non-OECD Europe <sup>(3)</sup>	1,4	1,1	1,0	0,7	0,5
Ex-URSS <sup>(4)</sup> FSU <sup>(4)</sup>	1,2	1,2	1,5	1,5	1,0
Moyen Orient Middle East	0,3	0,4	0,8	0,9	0,9
Afrique Africa	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Asie hors Chine Asia exclusive of China	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
dont Inde of which India	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3
Chine China	1,7	1,7	1,1	0,6	0,6
Pacifique OCDE <sup>(5)</sup> OECD Pacific <sup>(5)</sup>	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4
<b>Monde World</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
OCDE OECD	0,8	0,7	0,5	0,5	0,4

(1) Etats-Unis, Canada, et Mexique USA, Canada and Mexico

(2) Union européenne 15, Hongrie, Islande, Norvège, Pologne, République Slovaque, République Tchèque, Suisse et Turquie

European Union 15, Hungary, Island, Norway, Poland, Slovak Republic, Czech Republic, Switzerland and Turkey

(3) Albanie, Bulgarie, Chypre, Gibraltar, Malte, Roumanie, Bosnie - Herzégovine, Croatie, République de Macédoine, Serbie et Slovénie Albania, Bulgaria, Cyprus, Gibraltar, Malta, Romania, Bosnia - Herzegovina, Croatia, FYR of Macedonia, Serbia and Slovenia

(4) Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Estonie, Georgie, Kazakhstan, Kirgystan, Lettonie, Lituanie, Moldavie, Russie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine et Ouzbékistan Armenia, Azerbaïdjan, Belarus, Estonia, Georgia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lithuania, Moldova, Russia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine and Uzbekistan

(5) Australie, Japon, Corée et Nouvelle Zélande Australia, Japan, Korea and New Zealand  
Source : CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion 1971-2004, AIE, éd 2009

Principaux gaz à effet de serre

Main Greenhouse gases

Vapeur d'eau (H <sub>2</sub> O)	Oxyde nitreux (N <sub>2</sub> O)
Dioxyde de carbone (CO <sub>2</sub> )	Chlorofluorocarbones (CFC)
Méthane (CH <sub>4</sub> )	Ozone troposphérique (O <sub>3</sub> )

Europe : émissions de CO<sub>2</sub> par habitant provenant des combustibles fossiles

Europe: CO<sub>2</sub> emissions per capita from fossil fuels

t CO <sub>2</sub> /habitant t CO <sub>2</sub> /capita	1971	1980	1990	2000	2007
Allemagne Germany	12,5	13,5	12,0	10,1	9,7
Autriche Austria	6,5	7,4	7,3	7,7	8,4
Belgique Belgium	12,1	12,8	10,8	11,6	10,0
Bulgarie Bulgaria	7,4	9,5	8,6	5,2	6,6
Chypre Cyprus	2,9	5,1	6,6	9,0	9,3
Danemark Denmark	11,1	12,2	9,8	9,3	9,2
Espagne Spain	3,5	5,0	5,3	7,1	7,7
Estonie Estonia	-	-	23,1	10,6	13,5
Finlande Finland	8,6	11,5	10,9	10,4	12,2
<b>France</b>	<b>8,2</b>	<b>8,4</b>	<b>6,0</b>	<b>6,2</b>	<b>5,8</b>
Grèce Greece	2,8	4,6	6,8	8,0	8,7
Hongrie Hungary	6,0	8,0	6,4	5,3	5,4
Irlande Ireland	7,3	7,6	8,7	10,8	10,1
Italie Italy	5,4	6,4	7,0	7,4	7,4
Lettonie Latvia	-	-	6,9	2,9	3,7
Lituanie Lithuania	-	-	9,0	3,2	4,3
Luxembourg	45,1	32,8	27,4	18,3	22,4
Malte Malta	2,0	2,7	6,4	5,4	6,7
Pays-Bas Netherlands	9,8	10,8	10,5	10,9	11,1
Pologne Poland	8,7	11,6	9,0	7,6	8,0
Portugal	1,7	2,4	3,9	5,8	5,2
Rep. Tchèque Czech Republic	15,4	16,0	15,0	11,9	11,8
Rep. Slovaque Slovak Republic	8,6	11,1	10,7	6,9	6,8
Roumanie Romania	5,6	7,9	7,2	3,8	4,3
Royaume-Uni United Kingdom	11,2	10,1	9,7	8,9	8,6
Slovénie Slovenia	-	-	6,6	7,0	7,9
Suède Sweden	10,2	8,8	6,2	6,0	5,1
<b>UE 27 EU 27</b>			<b>9,5</b>	<b>8,0</b>	<b>8,5</b>
Canada	15,5	17,4	15,6	17,4	17,4
Etats-Unis United States	20,7	20,5	19,4	20,2	19,1
Japon Japan	7,2	7,5	8,6	9,3	9,7

Source : CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, AIE éd 2009

Europe : émissions de CO<sub>2</sub> par unité de PIB provenant des combustibles fossiles  
 Europe: CO<sub>2</sub> emissions per GDP unit from fossil fuels

kg CO <sub>2</sub> /US\$2000 selon PPA	1971	1980	1990	2000	2007
kg CO <sub>2</sub> /US\$ using 2000 prices and PPP					
Allemagne Germany	0,9	0,8	0,6	0,4	0,3
Autriche Austria	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3
Belgique Belgium	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3
Bulgarie Bulgaria	2,5	1,8	1,3	0,9	0,7
Chypre Cyprus	0,6	0,5	0,4	0,5	0,4
Danemark Denmark	0,7	0,7	0,4	0,3	0,3
Espagne Spain	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3
Estonie Estonia	-	-	2,7	1,1	0,8
Finlande Finland	0,7	0,7	0,5	0,4	0,4
<b>France</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>
Grèce Greece	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
Hongrie Hungary	0,9	0,8	0,6	0,4	0,3
Irlande Ireland	0,9	0,7	0,6	0,4	0,3
Italie Italy	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Lettonie Latvia	-	-	0,7	0,4	0,2
Lituanie Lithuania	-	-	0,8	0,4	0,3
Luxembourg	2,2	1,4	0,7	0,3	0,3
Malte Malta	0,6	0,3	0,5	0,3	0,4
Pays-Bas Netherlands	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3
Pologne Poland	1,4	1,5	1,2	0,7	0,6
Portugal	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
Rép. Tchèque Czech Republic	1,5	1,3	1,0	0,8	0,6
Rép. Slovaque Slovak Republic	1,1	1,2	1,0	0,6	0,4
Roumanie Romania	1,7	1,2	1,1	0,7	0,5
Royaume-Uni UK	0,8	0,6	0,5	0,3	0,3
Slovénie Slovenia	-	-	0,5	0,4	0,3
Suède Sweden	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2
<b>UE 27 EU 27</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>	<b>0,7</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>
Canada	1,0	0,9	0,7	0,6	0,6
Etats-Unis United States	1,1	0,9	0,7	0,6	0,5
Japon Japan	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3

Source : CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion, AIE, éd 2009

Europe : émissions de CO<sub>2</sub> par kWh pour les secteurs de l'électricité et de la chaleur  
 Europe: CO<sub>2</sub> emissions per kWh from electricity and heat generation

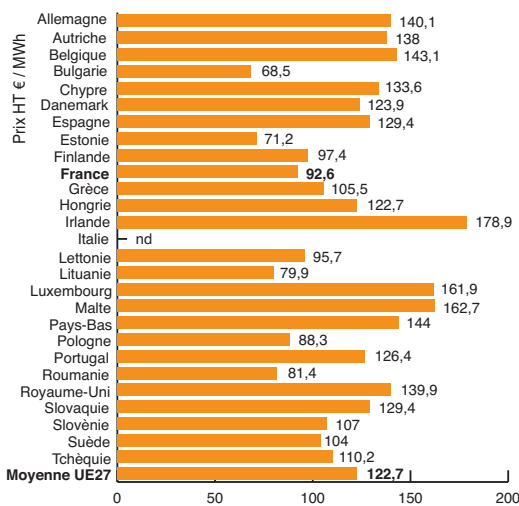
grammes CO <sub>2</sub> /kWh	1971*	1981*	1990	1995	2000	2005	2007
Allemagne Germany	840	696	553	522	494	405	427
Autriche Austria	359	236	245	214	180	223	202
Belgique Belgium	863	572	344	357	284	271	253
Bulgarie Bulgaria	709	632	-	429	431	447	515
Chypre Cyprus	-	-	-	822	838	788	761
Danemark Denmark	794	690	476	430	339	283	317
Espagne Spain	373	635	427	453	430	397	390
Estonie Estonia	-	-	-	680	691	671	688
Finlande Finland	296	195	227	247	211	193	230
<b>France</b>	<b>539</b>	<b>309</b>	<b>109</b>	<b>76</b>	<b>84</b>	<b>93</b>	<b>90</b>
Grèce Greece	674	806	990	871	813	776	749
Hongrie Hungary	728	696	420	432	401	341	345
Irlande Ireland	1 088	710	740	727	642	582	504
Italie Italy	463	533	575	545	498	413	388
Lettonie Latvia	-	-	-	238	200	162	164
Lituanie Lithuania	-	-	-	174	160	136	117
Luxembourg	2 402	1 853	2 588	1 340	255	328	328
Malte Malta	-	-	-	957	819	917	923
Pays-Bas Netherlands	648	614	588	530	447	387	405
Pologne Poland	560	631	641	671	671	657	668
Portugal	276	443	516	569	479	501	383
Rép. Tchèque Czech Republic	896	747	597	602	596	525	558
Rép. Slovaque Slovak Republic	473	427	376	375	267	229	229
Roumanie Romania	505	414	440	420	396	400	438
Royaume-Uni UK	912	798	672	529	461	484	500
Slovénie Slovenia	-	-	-	362	330	345	372
Suède Sweden	138	47	48	50	42	44	40
<b>UE 27 EU 27</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>415</b>	<b>382</b>	<b>355</b>	<b>362</b>
Canada	217	183	203	184	222	196	205
Etats-Unis United States	765	708	-	579	586	570	549
Japon Japan	602	489	434	411	401	430	450

\* Les données proviennent de l'édition 2002 de CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion publié par l'AIE.  
 Source : CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel combustion, AIE éd 2009

## DONNÉES ÉCONOMIQUES

Prix HT € / MWh au 1 <sup>er</sup> janvier 2009	
140,1	Allemagne
138	Autriche
143,1	Belgique
68,5	Bulgarie
133,6	Chypre
123,9	Danemark
129,4	Espagne
71,2	Estonie
97,4	Finlande
<b>92,6</b>	<b>France</b>
105,5	Grèce
122,7	Hongrie
178,9	Irlande
nd	Italie
95,7	Lettonie
79,9	Lituanie
161,9	Luxembourg
162,7	Malte
144	Pays-Bas
88,3	Pologne
126,4	Portugal
81,4	Roumanie
139,9	Royaume-Uni
129,4	Slovaquie
107	Slovénie
104	Suède
110,2	Tchèque
<b>122,7</b>	<b>Moyenne UE27</b>

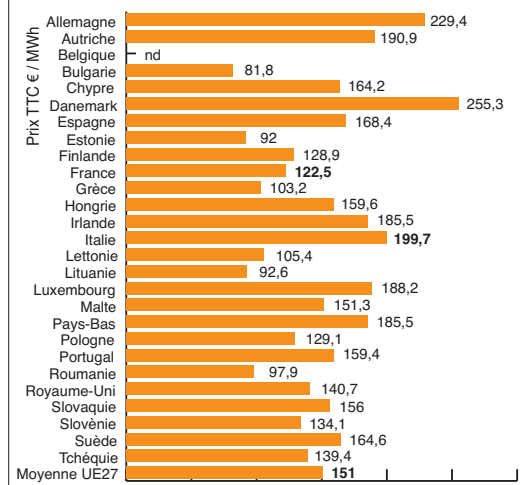
Prix HT de l'électricité à usage domestique  
au 1<sup>er</sup> janvier 2009



Source : Eurostat

Prix TTC € / MWh au 1 <sup>er</sup> janvier 2009	
229,4	Allemagne
190,9	Autriche
nd	Belgique
81,8	Bulgarie
164,2	Chypre
255,3	Danemark
168,4	Espagne
92	Estonie
128,9	Finlande
<b>122,5</b>	<b>France</b>
103,2	Grèce
159,6	Hongrie
185,5	Irlande
199,7	Italie
105,4	Lettonie
92,6	Lituanie
188,2	Luxembourg
151,3	Malte
185,5	Pays-Bas
129,1	Pologne
159,4	Portugal
97,9	Roumanie
140,7	Royaume-Uni
156	Slovaquie
134,1	Slovénie
164,6	Suède
139,4	Tchèque
<b>151</b>	<b>Moyenne UE 27</b>

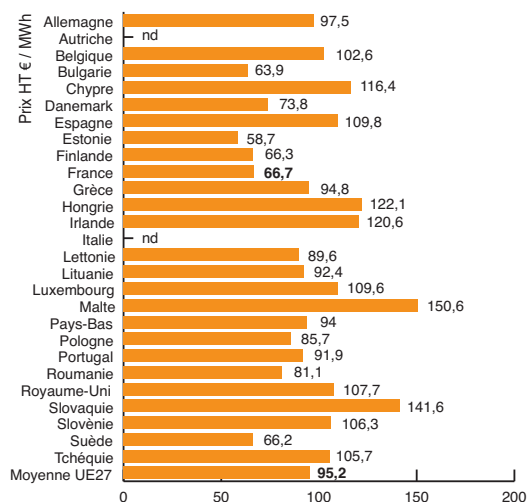
Prix TTC de l'électricité à usage domestique  
au 1<sup>er</sup> janvier 2009



Source : Eurostat

Prix HT € / MWh au 1 <sup>er</sup> janvier 2009	
Allemagne	97,5
Autriche	nd
Belgique	102,6
Bulgarie	63,9
Chypre	116,4
Danemark	73,8
Espagne	109,8
Estonie	58,7
Finlande	66,3
<b>France</b>	<b>66,7</b>
Grèce	94,8
Hongrie	122,1
Irlande	120,6
Italie	nd
Lettonie	89,6
Lituanie	92,4
Luxembourg	109,6
Malte	150,6
Pays-Bas	94
Pologne	85,7
Portugal	91,9
Roumanie	81,1
Royaume-Uni	107,7
Slovaquie	141,6
Slovénie	106,3
Suède	66,2
Tchéquie	105,7
<b>Moyenne UE 27</b>	<b>95,2</b>

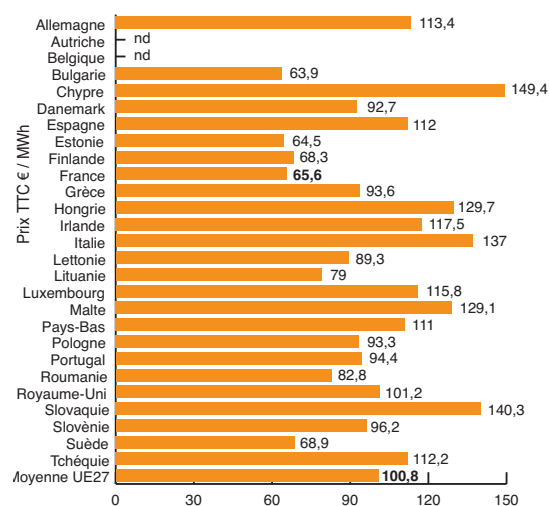
Prix HT de l'électricité à usage industriel  
au 1<sup>er</sup> janvier 2009



Source : Eurostat

Prix TTC € / MWh au 1 <sup>er</sup> janvier 2009	
Allemagne	113,4
Autriche	nd
Belgique	nd
Bulgarie	63,9
Chypre	149,4
Danemark	92,7
Espagne	112
Estonie	64,5
Finlande	68,3
<b>France</b>	<b>65,6</b>
Grèce	93,6
Hongrie	129,7
Irlande	117,5
Hongrie	129,7
Irlande	117,5
Italie	137
Lettonie	89,3
Lituanie	79
Luxembourg	115,8
Malte	129,1
Pays-Bas	111
Pologne	93,3
Luxembourg	115,8
Portugal	94,4
Roumanie	82,8
Royaume-Uni	101,2
Slovaquie	140,3
Slovénie	96,2
Suède	68,9
Portugal	94,4
Tchéquie	112,2
Roumanie	82,8
Royaume-Uni	101,2
Slovaquie	140,3
Slovénie	96,2
Suède	68,9
Tchéquie	112,2
<b>Moyenne UE 27</b>	<b>100,8</b>

Prix TTC de l'électricité à usage industriel  
au 1<sup>er</sup> janvier 2009



Source : Eurostat



### Exemples de prix moyens des énergies en France

#### Examples of average prices of energies in France

Prix en monnaie courante Price in legal currency	1990	1995	2000	2005	2007
<b>Exemples de prix de l'électricité</b> Examples of Electricity prices					
<b>Domestique Residential</b> Prix de 100 kWh, en € TTC, simple tarif, selon la puissance souscrite : Price of 100 kWh in € including taxes, simple tariff depending on the subscribed power					
3 kVA	12,53	13,43	12,51	12,9	13,16
> 3 kVA	10,6	11,53	10,28	10,57	10,78
<b>Industriel Industrial</b> Prix de 100 kWh, en € HTVA, tarif bleu, selon période Price of 100 kWh in € excluding taxes, blue tariff, depending on time period					
Heures pleines	9,06	9,65	8,58	8,83	8,97
Heures creuses	5,15	5,49	5,26	5,38	5,46
<b>Exemples de prix du gaz</b> (Proche banlieue parisienne hors Paris) Examples of gas prices (Paris suburbs area excluding Paris)					
<b>Domestique Residential</b> Prix de 100 kWh PCS <sup>(1)</sup> , en € TTC, simple tarif Price of 100 kWh GCV <sup>(1)</sup> in € including taxes, simple tariff Tarif de base basic price	5,29	4,97	5,15	6,36	7,2
<b>Industriel Industrial</b> Prix de 100 kWh PCS <sup>(1)</sup> , en € HTVA, tarif B2S, selon la saison Price of 100 kWh GCV <sup>(1)</sup> in € excluding taxes, B2S tariff depending on season					
Hiver Winter	1,98	2,02	2,11	2,74	3,44
Été Summer	1,52	1,56	1,64	2,21	2,9
<b>Exemples de prix du fioul (moyenne France entière)</b> Examples of fuel oil prices (France average)					
<b>Domestique Residential</b> Prix de 100 kWh PCI, en € TTC, pour une livraison de 2 000 à 5 000 litres <sup>(2)</sup> Price of 100 kWh NCV, in € including taxes, for a 2,000- 5,000 l delivery <sup>(2)</sup> tarif "C1"	3,44	3,08	4,66	5,86	6,49
<b>Industriel Industrial</b> Prix de 100 kWh PCI, en € HTVA, selon la teneur en soufre <sup>(3)</sup> Price of 100 kWh NCV, in € excluding taxes, depending on percentage of sulphur <sup>(3)</sup>					
HTS High percentage	1,02	1	1,55	1,96	2,54
BTS Low percentage	nd	1,06	1,73	2,22	2,69
TBTS Very low percentage	nd	nd	1,91	2,36	2,78
<b>Exemples de prix du charbon (région parisienne)</b> Examples of coal prices (Paris area)					
<b>Domestique Residential</b> Prix moyen de 100 kWh PCI, en € TTC, pour une livraison de 1 à 2 t Average price for 100 kWh NCV, in € including taxes, for a delivery from 1 to 2 t				6,74	6,96
Anthracite 30/50 (PCI: 8,44 kWh/kg) Anthracite 30/50 (NCV: 8,44 kWh/kg)	-	-	-		
<b>Industriel Industrial</b> Prix moyen de 100 kWh PCI, en € HTVA Average price for 100 kWh NCV, in € excluding taxes				nd	nd
Flambant gras A, grains 6/10 (PCI: 8,48 kWh/kg) Anthracite 0,6 (NCV: 8,48 kWh/kg)	1,37	1,41	1,47		

(1) Pouvoir Calorifique Supérieur Gross Calorific Value

(2) Pouvoir Calorifique Inférieur de 11,8 kWh/kg Net Calorific Value of 11,8kWh/kg

(3) Pouvoir Calorifique Inférieur de 11,08 kWh/kg Net Calorific Value of 11,08kWh/kg

Source : base de données internet Pégase 2007, Observatoire de l'énergie

### Tarifs d'achat de l'électricité produite par les énergies renouvelables et la cogénération

Filière	Arrêtés	Durée des contrats	Exemple de tarifs pour les nouvelles installations
Hydraulique	1/03/07	20 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>6,07 c€/kWh + prime comprise entre 0,5 et 2,5 c€/kWh pour les petites installations + prime comprise entre 0 et 1,68 c€/kWh en hiver selon la régularité de la production</li> <li>15 c€/kWh pour énergie hydraulique des mers (houlo-motrice, marémotrice ou hydrocinétique)</li> </ul>
Biogaz et méthanisation	10/07/06	15 ans	entre 7,5 et 9 c€/kWh selon la puissance, + prime à l'efficacité énergétique comprise entre 0 et 3 c€/kWh, + prime à la méthanisation de 2 c€/kWh
Energie éolienne	17/11/08		<ul style="list-style-type: none"> <li>éolien terrestre : 8,2 c€/kWh pendant 10 ans, puis entre 2,8 et 8,2 c€/kWh pendant 5 ans selon les sites</li> <li>éolien en mer : 13 c€/kWh pendant 10 ans, puis entre 3 et 13 c€/kWh pendant 10 ans selon les sites.</li> </ul>
Energie photovoltaïque	31/08/10	20 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>intégré au bâti pour le résidentiel &lt; 3 kW: 58 c€/kWh</li> <li>intégré au bâti pour le résidentiel &gt; 3 kW: 51 c€/kWh</li> <li>intégré au bâti pour l'enseignement et la santé: 51 c€/kWh</li> <li>autres, intégrés au bâti : 44 c€/kWh</li> <li>intégration simplifiée tout bâtiment : 37 c€/kWh</li> <li>centrale au sol, Nord de la France : 33,12 c€/kWh</li> <li>centrale au sol, Sud de la France : 27,6 c€/kWh</li> <li>centrale au sol, DOM : 35,2 c€/kWh</li> </ul>
Géothermie	10/07/06	15 ans	Métropole (resp. DOM) : 12 c€/kWh (resp. 10) + prime à l'efficacité énergétique entre 0 et 3 c€/kWh
Cogénération	31/07/01	12 ans	6,1 à 9,15 c€/kWh en fonction du prix du gaz, de la durée de fonctionnement et de la puissance
Combustion de matières non fossiles végétales et animales	28/12/09	20 ans	4,5 à 5 c€/kWh + prime entre 8 et 13 c€/kWh selon critères de puissance, de ressources utilisées et d'efficacité énergétique. Son niveau est calculé en fonction de cette dernière
Déchets ménagers sauf biogaz	02/10/01	15 ans	4,5 à 5 c€/kWh + prime à l'efficacité énergétique comprise entre 0 et 0,3 c€/kWh

Source : MEEDDM mars 2010

France : prix de l'uranium (moyenne zone Euratom)

France: Uranium prices (Euratom average)

		1980	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009
Prix moyen pondéré des contrats à long terme Long term contracts average prices	\$/lb <sup>(1)</sup> €/kg <sup>(2)</sup>	36 67,2	29,4 60	17,5 34,8	13,1 37	16,1 33,6	18,6 38,4	21,6 41	26,7 47,2	29,9 55,7
Prix moyen annuel des échanges spot Spot price	\$/lb <sup>(1)</sup> €/kg <sup>(2)</sup>	35 65,3	9,7 19,8	7,7 15,3	8,1 22,8	21,2 44,3	26 53,7	64,2 121,8	66,9 118,2	41,8 78

(1) US\$ courants/lb U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> Current US\$/lb U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>  
 (2) Euros courants/kg U Current €/kg U  
 Source : rapport annuel Euratom 2009

France : prix CAF des énergies importées

France: CIF prices of imported energies

Monnaie courante Legal currency		1973	1980	1990	1995	2000	2005	2006	2007
Cours internationaux moyens International average price									
Brent daté (\$/bl)		-	37,83	23,65	17,04	28,52	54,55	65,13	72,45
Brent spot IPE (\$/bl)		-	-	24,87	16,97	28,45	55,09	21,55	73,49
Gaz NBP, cours spot (£/THERM)		-	-	-	20	41,38	18,53	30,38	
NBP Gas, spot price (£/THERM)		-	-	-	-	3,0	7,45	3,25	6,11
Gaz NBP, cours spot (US\$/Mbtu)		-	-	-	-	3,0	7,45	3,25	6,11
NBP Gas, spot price (US\$/Mbtu)		0,679	0,644	0,83	0,761	1,085	0,804	0,79	0,72
Dollar en euro									
Dollar in euro									
Livre en euro						1,64	1,46	1,46	1,46
Pound in euro									
Prix moyen à l'importation Average importation price									
CMS (€/t) SMF (€/t)		-	42,1	54,8	48,3	51,4	77,3	79,6	79,3
Pétrole brut (€/t) Crude oil		17,5	155,3	136,4	110,2	227,7	315,7	380,7	385,1
Pétrole brut (\$/bl) Crude oil		3,52	32,88	22,42	18,63	28,62	53,57	65,16	71,9
Produits pétroliers raffinés (€/t)		-	159,8	172,4	141,8	277,9	380	441,1	443,7
Petroleum products (€/t)									
Gaz naturel (€/kWh) Natural gas		0,088	0,729	0,794	0,765	1,018	4,216	2,06	1,87
Electricité exportée (€/kWh)								4,62	3,7

btu: british thermal unit  
 CAF: Coût Assurance Fret CIF Cost Insurance Freight  
 CMS: Combustibles Minéraux Solides SMF: Solid Mineral Fuels  
 NBP: National Balancing Point  
 (marché notional sur le National Transmission System (GB) utilisé comme point de livraison du gaz vendu ou acheté)  
 Source: base de données internet Pégase 2007, Observatoire de l'énergie

GÉNÉRALITÉS  
 TABLEAU DE MENDELÉÏEV

LEGENDE  
 Les chiffres entre parenthèses sont les masses atomiques des isotopes le plus stable.  
 Numéro atomique → Z  
 Masse atomique → A

Source: D'après Handbook of Chemistry and Physics, 74<sup>e</sup> Ed. 1993, CRC Press et Pure and Applied Chemistry, 1997, 681, 2471

**SYMBOLES**

**ELEMENTS ET ISOTOPES**

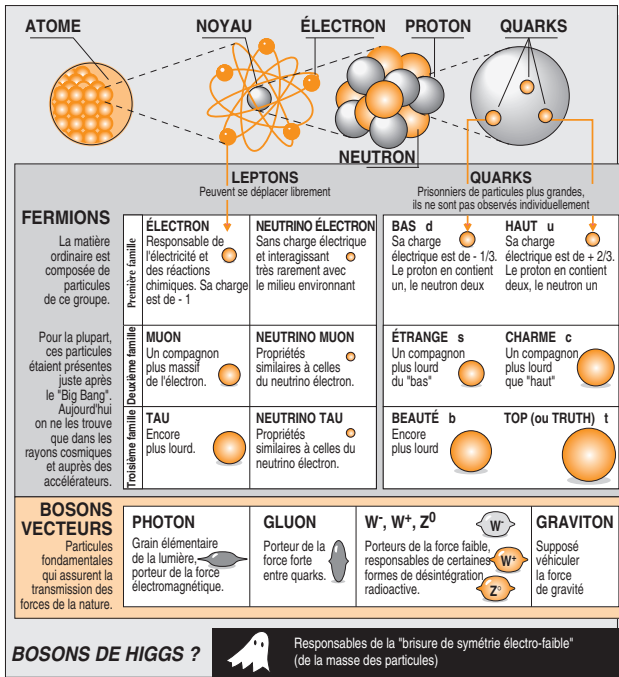
Ag	argent
Am	americium
Ar	argon
Ba	baryum
Br	brome
C	carbone
Cd	cadmium
Cl	chlore
Co	cobalt
CO <sub>2</sub>	dioxyde de carbone
Cs	césium
D	deutérium
F	fluor
H	hydrogène
I	iode
Ir	iridium
Kr	krypton
N	azote
Na	sodium
NO <sub>2</sub>	dioxyde d'azote
NO <sub>x</sub>	oxyde d'azote (en général)
Np	neptunium
K	potassium
O	oxygène
Pu	plutonium
PuO <sub>2</sub>	dioxyde de plutonium
Ra	radium
Rb	rubidium
Rh	rhodium
Rn	radon
Ru	ruthénium
SO <sub>2</sub>	dioxyde de soufre
SO <sub>x</sub>	oxyde de soufre (en général)
Sr	strontium
T	tritium
Tc	technétium
Th	thorium
Tl	thallium
U	uranium
UF <sub>6</sub>	hexafluorure d'uranium
UO <sub>2</sub>	dioxyde d'uranium
Xe	xénon

**Période, radioactivité et utilisation des principaux isotopes**

**Half-life, radioactivity and applications of the principal isotopes**

Z	Element	État	Période	Alpha (MeV)	Béta (MeV)	Gamma (MeV)	X (MeV)	Utilisation
0	n	1	F	10,3 m	0,7824			diverses
1	H	3	F	12,32 a	0,01860			fusion, traceur
4	Be	7	F	53,2 j		0,4776		datation, traceur
6	C	14	F	5 730 a	0,1565			datation, traceur
11	Na	22	F	2,603 a	0,545	1,275		médecine
11	Na	24	F	14,96 h	1,389	1,369		traceur
						2,754		
19	K	40	F	1,26.10 <sup>9</sup> a	1,312	1,461		datation
26	Fe	55	F	2,73 a			0,006	fluorescence X
26	Fe	59	F	44,51 j	0,273	1,099		traceur
					0,475	1,292		
27	Co	58	F	70,86 j		0,8108		traceur
27	Co	60	F	5,271 a	0,315	1,173		irradiation, médecine
						1,333		
36	Kr	85	F	10,71 a	0,15	0,5140		traceur, jauges
38	Sr	90	F	28,15 a	0,546			jauges
43	Tc	99	M	6,01 h		0,1405	0,02	médecine
						0,1426		
53	I	125	F	59,4 j		0,0355	0,03	médecine
53	I	131	F	8,02 j	0,606	0,3645		médecine
54	Xe	133	F	5,243 j	0,346	0,08100	0,031	médecine
54	Xe	133	M	2,19 j		0,2333	0,030	
55	Cs	134	F	2,065 a	0,658	0,6047		sans utilisation
						0,7958		
55	Cs	137	F	30,17 a	0,514	0,6616		jauges
63	Eu	152	F	13,5 a	0,69	0,3443		sans utilisation
					1,47	1,408		
77	Ir	192	F	73,83 j	0,672	0,3165		brachythérapie
						0,4681		radiographie γ
79	Au	198	F	2,694 j	0,961	0,4118		médecine, traceur
81	Tl	201	F	3,041 j		0,1674	0,071	médecine
81	Tl	208	F	3,053 m	1,796	0,5830	0,071	sans utilisation
						2,615		
86	Rn	222	F	3,8235 j	5,490	0,510		sans utilisation
88	Ra	226	F	1 600 a	4,784	0,1861		sans utilisation
						0,2624		
90	Th	232	F	1,4.10 <sup>10</sup> a	4,010	0,0590		datation, traceur
92	U	235	F	7,04.10 <sup>8</sup> a	4,494	0,1857		combustible
92	U	238	F	4,46.10 <sup>9</sup> a	4,196	0,04354		datation, traceur.
				Fertile*				
93	Np	237	F	2,14.10 <sup>6</sup> a	4,788	0,08653		sans utilisation
94	Pu	239	F	2,411.10 <sup>4</sup> a	5,156	0,4137	0,02	combustible
95	Am	241	F	432,2 a	5,486	0,05954	0,02	jauges

**Caractéristiques des particules élémentaires**  
**Characteristics of the elementary particles**



Les particules élémentaires dans le cadre du modèle standard

NB : Nucléons : protons (2u + 1d) 1 charge +  
 neutrons (1u + 2d) neutre, charge 0  
 Source : "Scintillations" N° 3/92 DAPNIA/CEA

**UNITES DE MESURE**

UNITÉ	VALEUR EN SYSTÈME INTERNATIONAL (SI)	SYMBOLE	
longueur (L)	fermi	10 <sup>-15</sup> m	fm
	angström	10 <sup>-10</sup> m	Å
	micron	10 <sup>-6</sup> m	μ
	<b>mètre</b>	<b>1 m</b>	<b>m</b>
	mille nautique	1 852 m	
	unité astronomique	1,496.10 <sup>11</sup> m	u.a.
	année lumière	9,461.10 <sup>15</sup> m	a.l.
	parsec	3,0857.10 <sup>16</sup> m	pc
masse (M)	masse de l'électron	9,109558.10 <sup>-31</sup> kg	
	dalton ou unité de masse atomique	1,66.10 <sup>-27</sup> kg	u.m.a.
	carat métrique	2.10 <sup>-4</sup> kg	
	<b>kilogramme</b>	<b>1 kg</b>	<b>kg</b>
	quintal	100 kg	q
	tonne	1 000 kg	t
	masse solaire	1,991.10 <sup>30</sup> kg	M
temps (T)	<b>seconde</b>	<b>1 s</b>	<b>s</b>
	jour solaire moyen	86 400 s	j, d
	jour sidéral	86 164,1 s	
température (θ)	<b>kelvin</b>	<b>1 K</b>	<b>K</b>
	degré Celsius	1 K	°C
	électronvolt	11 605 K	eV
quantité de matière	<b>mole</b>	<b>1 mol</b>	<b>mol</b>
surface (L <sup>2</sup> )	barn	10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>	b
	are	100 m <sup>2</sup>	a
volume capacité (L <sup>3</sup> )	litre	10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>	l
	stère	1 m <sup>3</sup>	st
	baril de pétrole	0,15898 m <sup>3</sup>	
fréquence (T <sup>-1</sup> )	hertz	1 s <sup>-1</sup>	Hz
vitesse linéaire (LT <sup>-1</sup> )	nœud	0,514 ms <sup>-1</sup>	
accélération linéaire (LT <sup>-2</sup> )	gal	0,01 ms <sup>-2</sup>	
force (MLT <sup>-2</sup> )	dyne	10 <sup>-5</sup> N	dyn
	newton	1 N	N
	kilogramme-force	9,81 N	kgf

énergie, travail quantité de chaleur (ML <sup>2</sup> T <sup>-2</sup> )	électronvolt	1,602.10 <sup>-19</sup> J	eV
	erg	10 <sup>-7</sup> J	
	joule	1 J	J
	calorie	4,184 J	cal
	wattheure	3 600 J	Wh
	thermie	4,184.10 <sup>6</sup> J	th
puissance (ML <sup>2</sup> T <sup>-3</sup> )	watt	1 W	W
	cheval-vapeur	735,5 W	ch
pression (ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> )	barye	10 <sup>-1</sup> Pa	
	pascal	1 Pa	Pa
	torr	133,332 Pa	
	pièze	10 <sup>3</sup> Pa	pz
	centimètre de mercure	1 333,32 Pa	cmHg
	kilogramme-force par centimètre carré	9,8.10 <sup>4</sup> Pa	kgf/cm <sup>2</sup>
	bar	10 <sup>5</sup> Pa	
atmosphère	101 325 Pa		
viscosité dynamique (ML <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup> )	poise	0,1 PI	Po
	poiseuille	1 PI	PI
viscosité cinématique (L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup> )	stokes	10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	Sk
intensité électrique (I)	<b>ampère</b>	<b>1 A</b>	<b>A</b>
quantité d'électricité	franklin	3,33564.10 <sup>-10</sup> C	Fr
charge électrique (IT)	coulomb	1 C	C
	faraday	96 494 C	
potentiel (ML <sup>2</sup> T <sup>-3</sup> I <sup>-1</sup> )	volt	1 V	V
résistance (ML <sup>2</sup> T <sup>-3</sup> I <sup>-2</sup> )	ohm	1 Ω	Ω
capacité (M <sup>-1</sup> L <sup>-2</sup> T <sup>4</sup> I <sup>2</sup> )	centimètre farad	1,112.10 <sup>-2</sup> F	
		1 F	F
conductance (M <sup>-1</sup> L <sup>-2</sup> T <sup>3</sup> I <sup>2</sup> )	siemens	1 S	S
inductance (ML <sup>2</sup> T <sup>-2</sup> I <sup>-2</sup> )	centimètre	10 <sup>-9</sup> H	cm
	henry	1 H	H

induction magnétique (MT <sup>-2</sup> I <sup>-1</sup> )	gauss	10 <sup>-4</sup> T	Gs, G
	tesla	1 T	T
flux d'induction magnétique (ML <sup>2</sup> T <sup>-2</sup> I <sup>-1</sup> )	maxwell	10 <sup>-8</sup> Wb	Mx
	weber	1 Wb	Wb
moment magnétique (ML <sup>3</sup> T <sup>-2</sup> I <sup>-1</sup> )	debye	3,355.10 <sup>-30</sup> Cm	D
intensité lumineuse (I <sub>e</sub> )	<b>candela</b>	<b>1 cd</b>	<b>cd</b>
luminance (L <sup>-2</sup> I <sub>e</sub> )	nit	1 nit	nit
	stilb	10 <sup>4</sup> nit	sb
éclairage (L <sup>-2</sup> I <sub>e</sub> )	lux	1 lx	lx
	phot	10 <sup>4</sup> lx	ph
flux lumineux (I <sub>e</sub> )	lumen	0,00147 W (à 5 550 Å)	lm
vergence (L <sup>-1</sup> )	dioptrie	1 m <sup>-1</sup>	δ
radioactivité (activité)	becquerel	1 Bq	Bq
	curie	3,7.10 <sup>10</sup> Bq (désintégrations par seconde)	Ci
radioactivité (dose)	röntgen	2,58.10 <sup>-4</sup> C/kg	R
	rad	10 <sup>-2</sup> Gy	rad
	gray	1 Gy	Gy
information	bit	unité élémentaire de quantité d'information	
débit d'information	baud	1 bit par seconde	
atténuation	bel		B
	neper		Np
angle plan arc	seconde	4,845.10 <sup>-6</sup> rad	"
	minute	2,9.10 <sup>-4</sup> rad	'
	grade	0,0157079 rad	gr, G
	degré	0,0174533 rad	°
	radian	1 rad	rad
angle solide	stéradian	1 sr	sr
	spat	4π sr	sp

NB : en gras les unités de base du Système international.  
Source : Encyclopædia Universalis, 1986.

**Préfixes des multiples et sous-multiples décimaux des unités du Système international**

Préfixe	Facteur	Symbole	Préfixe	Facteur	Symbole
exa	10 <sup>18</sup>	E	déci	10 <sup>-1</sup>	d
péta	10 <sup>15</sup>	P	centi	10 <sup>-2</sup>	c
téra	10 <sup>12</sup>	T	milli	10 <sup>-3</sup>	m
giga	10 <sup>9</sup>	G	micro	10 <sup>-6</sup>	μ
méga	10 <sup>6</sup>	M	nano	10 <sup>-9</sup>	n
kilo	10 <sup>3</sup>	k	pico	10 <sup>-12</sup>	p
hecto	10 <sup>2</sup>	h	femto	10 <sup>-15</sup>	f
déca	10 <sup>1</sup>	da	atto	10 <sup>-18</sup>	a

**Unités de mesure anglosaxonnes**

**LONGUEURS (Length)**

1 inch (in)	25,4 mm
1 foot (ft) = 12 inches	30,48 cm
1 yard (yd) = 3 feet	91,44 cm
1 rod, pole or perch = 5 1/2 yards	5,029 m
1 chain (ch) = 22 yards	20,12 m
1 furlong (fur) = 220 yards	201,168 m
1 mile = 8 furlongs	1,6093 km
1 league = 3 miles	4,828 km

**SURFACES (Area)**

1 square inch	6,4516 cm <sup>2</sup>
1 sq. foot = 144 sq. inches	929,03 cm <sup>2</sup>
1 sq. yard = 9 sq. feet	0,8361 m <sup>2</sup>
1 acre = 4 roods = 4 840 sq. yards	0,405 ha
1 sq. mile = 640 acres	259 ha

**VOLUMES (Capacity)**

1 fluid ounce (GB)	28,41 ml
1 fluid ounce (US)	29,57 ml
1 pint (GB) = 20 fluid ounces	0,5683 l
1 pint (US) = 16 fluid ounces	0,4732 l
1 quart (GB) = 2 pints	1,1365 l
1 quart (US) = 2 pints	0,9464 l
1 gallon (GB) = 4 quarts	4,5461 l
1 gallon (US) = 4 quarts	3,7854 l

**POIDS (Weights)**

1 grain (gr)	64,8 mg
1 ounce (oz) = 437,5 grains	28,35 g
1 pound (lb) = 16 ounces	453,592 g
1 stone (GB) = 14 pounds	6,3503 kg
1 quarter = 2 stone	12,7 kg
1 (long) hundredweight (GB) = 112 pounds	50,8 kg
1 (short) hundredweight (US) = 100 pounds	45,36 kg
1 (long) ton (GB) = 2 240 pounds	1 016,047 kg
1 (short) ton (US) = 2 000 pounds	907,185 kg

**MESURES NAUTIQUES (Nautical units)**

1 fathom = 6 feet	1,829 m
1 cable = 608 feet (in the British Navy)	185,31 m
1 cable = 720 feet (in the US Navy)	219,46 m
1 nautical (or sea) mile = 6 080 feet	1,852 km
1 sea league = 3 sea miles	5,55 km
1 degree = 60 sea miles	111,12 km

**TEMPÉRATURE (Temperature)**

	Fahrenheit	Celsius (°C)
Ébullition de l'eau	212 °F	100 °C
Congélation de l'eau	32 °F	0 °C
	14 °F	- 10 °C
	0 °F	- 17,8 °C
Zéro absolu	- 459,67 °F	- 273,15 °C

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32) \quad ^{\circ}\text{F} = 9/5 ^{\circ}\text{C} + 32$$

**CONSTANTES PHYSIQUES**

**Constantes physiques fondamentales**

Constante	Symbole usuel	Valeur	Unité	Incertitude relative (ppm)
vitesse de la lumière dans le vide	<i>c</i>	299 792 458	ms <sup>-1</sup>	(par définition)
perméabilité du vide	$\mu_0$	$4\pi 10^{-7}$	NA <sup>-2</sup>	
permittivité du vide	$\epsilon_0$	$= 12,566 370 614...$	10 <sup>-7</sup> NA <sup>-2</sup>	(calculé)
		$1/\mu_0 c^2$		
		$= 8,854 187 817...$	10 <sup>-12</sup> Fm <sup>-1</sup>	(calculé)
constante de gravitation	<i>G</i>	6,672 59 (85)	10 <sup>-11</sup> m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup>	128
constante de Planck	<i>h</i>	6,626 075 5 (40)	10 <sup>-34</sup> Js	0,60
<i>h</i> /2 $\pi$	<i>h</i>	1,054 572 66 (63)	10 <sup>-34</sup> Js	0,60
charge élémentaire	<i>e</i>	1,602 177 33 (49)	10 <sup>-19</sup> C	0,30
flux magnétique, <i>h</i> /2 <i>e</i>	$\Phi_0$	2,067 834 61 (61)	10 <sup>-15</sup> Wb	0,30
masse de l'électron	<i>m<sub>e</sub></i>	9,109 389 7 (54)	10 <sup>-31</sup> kg	0,59
masse du proton	<i>m<sub>p</sub></i>	1,672 623 1 (10)	10 <sup>-27</sup> kg	0,59
quotient des masses				
proton-électron	<i>m<sub>p</sub></i> / <i>m<sub>e</sub></i>	1 836,152 701 (37)		0,020
constante de structure fine	$\alpha$	7,297 353 08 (33)	10 <sup>-3</sup>	0,045
inverse constante de structure fine	$\alpha^{-1}$	137,035 989 5 (61)		0,045
constante de Rydberg	<i>R<sub>∞</sub></i>	10 973 731,534 (13)	m <sup>-1</sup>	0,0012
nombre d'Avogadro	<i>N<sub>A</sub></i> , <i>L</i>	6,022 136 7 (36)	10 <sup>23</sup> mol <sup>-1</sup>	0,59
constante de Faraday, <i>N<sub>A</sub>e</i>	<i>F</i>	96 485,309 (29)	Cmol <sup>-1</sup>	0,30
constante des gaz parfaits	<i>R</i>	8,314 510 (70)	Jmol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	8,4
Constante de Boltzmann, <i>R</i> / <i>N<sub>A</sub></i>	<i>k</i>	1,380 658 (12)	10 <sup>-23</sup> JK <sup>-1</sup>	8,5
Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma$	5,670 51 (19)	10 <sup>-8</sup> Wm <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup>	34
Autres unités non SI complémentaires				
électronvolt, ( <i>e</i> /C)J = ( <i>e</i> )J	eV	1,602 177 33 (49)	10 <sup>-19</sup> J	0,30
unité de masse atomique	<i>u</i>	1,660 540 2 (10)	10 <sup>-27</sup> kg	0,59
1 <i>u</i> = <i>m<sub>u</sub></i> = 1/12 <i>m</i> ( <sup>12</sup> C)				

Source : Handbook of Chemistry and Physics, 74<sup>th</sup> Ed. 1993, CRC Press.

## LE CEA

### PRÉSENTATION

## Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

Acteur majeur en matière de recherche, de développement et d'innovation, le CEA intervient dans trois grands domaines : l'énergie, les technologies pour l'information et la santé, la Défense et la sécurité globale ; en s'appuyant sur une recherche fondamentale d'excellence.

Désormais Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, son nouveau nom concrétise pour le CEA des recherches menées par l'organisme depuis de nombreuses années sur une large part du spectre des énergies décarbonées : énergie nucléaire avec notamment la 4<sup>e</sup> génération de réacteurs, et nouvelles technologies de l'énergie avec l'énergie solaire, les batteries électriques et la valorisation de la biomasse.

Fort de ses 15 000 chercheurs et collaborateurs, aux compétences internationalement reconnues, le CEA constitue une force d'expertise et de proposition pour les pouvoirs publics. Les équipes du CEA explorent et repoussent encore plus loin les limites de la connaissance scientifique en s'appuyant sur des outils à la pointe des performances (superordinateurs, réacteurs de recherche, grands instruments de physique, lasers de puissance...). Acteur moteur de l'innovation industrielle, le CEA développe des partenariats avec les industriels français et européens.

Implanté sur 10 centres répartis dans toute la France, le CEA bénéficie d'une forte insertion régionale et de solides partenariats avec les autres organismes de recherche. Reconnu comme expert dans ses domaines de compétences, le CEA s'insère pleinement dans l'espace européen de la recherche et accroît sans cesse sa présence au niveau international.

Le CEA assure la représentation de la France au sein des grandes agences nucléaires et anime un réseau de 13 conseillers nucléaires à l'étranger au sein de nos ambassades.

### Une variété de programmes articulés autour de trois grands axes :

#### Les énergies décarbonées

Disposer de formes d'énergie compétitives, sûres et propres, en particulier non émettrices de gaz à effet de serre, tel est l'objectif que poursuit le CEA à travers ses recherches et développements sur l'énergie.

En appui des industriels, le CEA cherche à optimiser le parc actuel des réacteurs nucléaires et à mettre au point des solutions techniques pour la gestion des déchets radioactifs.

Il participe aux programmes de recherches internationaux sur les réacteurs et combustibles nucléaires du futur qui assureront une production à la fois plus économique, plus sûre et générant moins de déchets. Il conduit enfin des programmes sur l'impact sanitaire et environnemental de l'énergie nucléaire.

Les recherches du CEA soutiennent également l'essor des nouvelles technologies pour l'énergie : l'hydrogène, le photovoltaïque, la biomasse...

La fusion thermonucléaire, dont la maîtrise pourrait permettre dans l'avenir de disposer d'une source quasi infinie d'énergie, est également au cœur de ses recherches. Le CEA est ainsi fortement impliqué dans le projet international du réacteur expérimental ITER.

En amont des recherches et développements sur les énergies, il conduit différents programmes dans les domaines des sciences du climat et de l'environnement, des sciences de la matière, de la chimie et des interactions rayonnement-matière.

#### Technologies pour l'information et la santé

Afin de favoriser l'innovation industrielle, le CEA dispose d'une recherche technologique de haut niveau dans le domaine des micro et nanotechnologies. Les applications industrielles de ces recherches concernent notamment les télécommunications et les objets communicants.

Il exerce ses compétences dans le domaine des technologies logicielles : systèmes embarqués et interactifs, capteurs et traitement du signal.

Grâce aux compétences qu'il développe autour des biotechnologies et des technologies nucléaires pour la santé (marquage biomoléculaire, imagerie médicale...), il est également un acteur de la recherche médicale.

Ces programmes appliqués s'appuient sur des recherches de base en nanophysique et ingénierie moléculaire, sciences des matériaux et cryotechnologies.

#### Au service de la Défense nationale

Dans le cadre des lois de programmation militaire, le CEA développe les programmes nécessaires pour garantir la pérennité de la dissuasion nucléaire française. A la suite de l'arrêt des essais nucléaires, il met en œuvre le programme Simulation, qui s'appuie sur d'importants moyens expérimentaux et de calcul (Airix, Laser Mégajoule, Supercalculateur Tera).

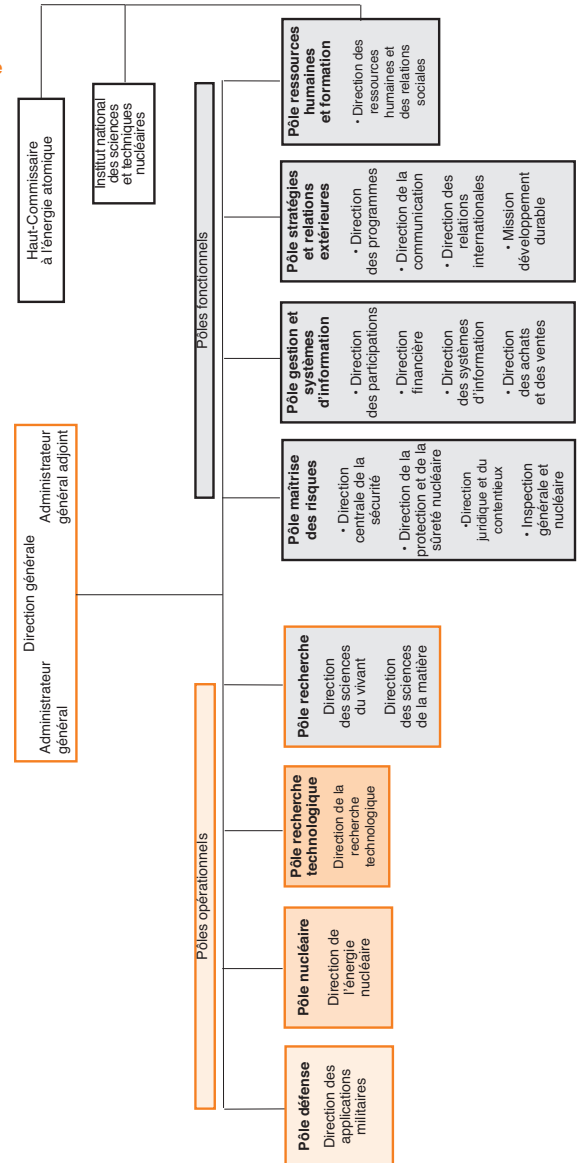
En matière de propulsion nucléaire (sous-marins, porte-avions), le CEA est notamment responsable de la conception et de la maintenance des réacteurs.

Il intervient enfin dans les instances nationales et internationales, où il contribue à la surveillance du respect des traités internationaux tels que le Traité d'interdiction complète des essais nucléaires (TICE). Il participe à la lutte contre la prolifération des armes nucléaires.

#### Etablissements CEA



#### Organigramme du CEA





### Pour plus d'informations sur le CEA

CEA  
Direction de la Communication  
Bâtiment Siège  
91191 Gif-sur-Yvette cedex  
tél : 01 64 50 16 14

Siège social : CEA  
Bâtiment Le ponant D  
25 rue Leblanc  
75015 PARIS  
tél : 01 64 50 20 04

### Les centres de recherche du CEA

• **CEA - Centre de Cadarache**  
13108 Saint-Paul-lez-Durance cedex  
tél : 04 42 25 70 00  
[www-cad.cea.fr](http://www-cad.cea.fr)

• **CEA - Centre du Cesta**  
BP 2  
33114 Le Barp  
tél : 05 57 04 40 00  
[www-dam.cea.fr](http://www-dam.cea.fr) (rubrique Les centres DAM)

• **CEA - Centre DAM-Ile-de-France**  
BP 12 - Bruyères-le-Châtel  
91297 Arpajon cedex  
tél : 01 69 26 40 00  
[www-dam.cea.fr](http://www-dam.cea.fr) (rubrique Les centres DAM)

• **CEA - Centre de Fontenay-aux-Roses**  
BP 6  
92265 Fontenay-aux-Roses cedex  
tél : 01 46 54 70 80

• **CEA - Centre de Gramat**  
BP 80200  
46500 Gramat  
tél : 05 65 10 54 32

• **CEA - Centre de Grenoble**  
17, rue des Martyrs  
38054 Grenoble cedex 9  
tél : 04 38 78 44 00

• **CEA - Centre du Ripault**  
BP 16  
37260 Monts  
tél : 02 47 34 40 00  
[www-dam.cea.fr](http://www-dam.cea.fr) (rubrique Les centres DAM)

• **CEA - Centre de Saclay**  
91191 Gif-sur-Yvette cedex  
tél : 01 69 08 60 00

• **CEA - Centre de Valduc**  
BP 14  
21120 Is-sur-Tille  
tél : 03 80 23 40 00

• **CEA - Centre de Valrhô - site de Marcoule**  
BP 171  
30207 Bagnols-sur-Cèze cedex  
tél : 04 66 79 60 00

• **INSTN (Institut national des sciences et techniques nucléaires)**  
91191 Gif-sur-Yvette cedex

### Pour plus d'informations sur le nucléaire

#### Les institutionnels

• **AEN** (Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire)  
2, rue André Pascal  
75775 Paris cedex 16  
tél : 01 45 24 82 00  
[www.nea.fr](http://www.nea.fr)

• **AIEA** (Agence internationale de l'énergie atomique)  
WAGRAMERSTRASSE 5  
BP 100  
A - 1400 Vienne  
AUTRICHE [43] (1) 2060  
[www.iaea.org](http://www.iaea.org)

• **Andra** (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs)  
Parc de la Croix Blanche - 1-7, rue Jean Monet  
92298 Chatenay-Malabry cedex  
tél : 01 46 11 80 00  
[www.andra.fr](http://www.andra.fr)

• **ASN** (Autorité de sûreté nucléaire)  
6, place du Colonel Bourgoin  
75572 Paris Cedex 12  
[www.asn.gouv.fr](http://www.asn.gouv.fr)

• **Direction générale de l'énergie et du climat** (DGEC)  
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable, et de la Mer  
Grande Arche de la Défense - Paroi Nord  
92055 La Défense Cedex  
tél : 01 40 90 20 00  
[www.industrie.gouv.fr](http://www.industrie.gouv.fr) (rubrique "énergie et matières premières")

• **IRSN** (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire)  
Centre de Fontenay-aux-Roses - BP 6  
92265 Fontenay-aux-Roses cedex  
tél : 01 46 54 80 07  
www.irsn.org

• **Euratom**  
200, rue de la Loi  
B 1049 Bruxelles  
Belgique [32] (2) 299 11 11  
europa.eu.int (thème "énergie")

#### **Les industriels**

• **AREVA**  
33 rue La Fayette  
75442 Paris cedex 09  
tél.: 33 (0)1 34 96 00 00  
www.areva.com

• **AREVA NC**  
2 rue Paul Dautier - BP 4  
78141 Vélizy Villacoublay  
www.areva-nc.fr

• **Electricité de France**  
22, avenue Wagram  
75008 Paris  
tél : 01 40 42 22 22  
www.edf.fr

• **AREVA NP**  
Tour AREVA  
1 Place de la Coupole  
92084 Paris La Défense cedex  
tél : 01 47 96 12 12  
www.areva-np.com

#### **Les associations**

• **SFP** (Société française de physique)  
33, rue Croulebarde  
75013 Paris  
tél : 01 44 08 67 10  
www.sfpnet.fr

• **Société française de l'énergie nucléaire** (SFEN)  
5 rue des Morillons  
75015 Paris  
tél : 01 53 58 32 10  
www.sfen.org

### Pour plus d'informations sur l'énergie

#### **Les institutionnels**

• **Ademe** (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie)  
27 rue Louis Vicat  
75015 Paris  
tél : 01 47 65 20 00  
www.ademe.fr

• **BRGM** (Bureau de recherches géologiques et minières)  
Avenue Claude Guillemin  
La Source - BP 6009  
45060 Orléans cedex 2  
tél : 02 38 64 34 34  
www.brgm.fr

• **Direm** (Direction des ressources énergétiques et minérales)  
61 boulevard Vincent Auriol  
75703 Paris cedex 13  
tél : 01 44 87 17 17

• **IFP** (Institut français du pétrole)  
232, avenue Napoléon Bonaparte  
92852 Rueil-Malmaison Cedex - France  
www.ifp.fr

• **Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques**  
Sénat  
15, rue Vaugirard  
75291 Paris cedex 06  
tél : 01 42 34 20 43  
www.senat.fr (rubrique "travaux parlementaires")

#### **Les industriels**

• **Charbonnage de France**  
100, avenue Albert 1er  
92503 Rueil Malmaison  
tél : 01 47 52 35 00  
www.groupecharbonnages.fr

• **Gaz de France**  
23 rue Philibert Delorme  
75840 Paris cedex 13  
www.gazdefrance.com

### Publications périodiques du CEA

- Clefs CEA (semestriel)
- Les Défis du CEA (mensuel)
- Rapport d'activité (annuel)
- Mémento sur l'énergie (annuel)
- Elecnuc - Les centrales nucléaires dans le monde (annuel)
- Collection "De la recherche à l'industrie" du CEA traitant de :
  - 1 - l'atome,
  - 2 - la radioactivité,
  - 3 - l'homme et les rayonnements,
  - 4 - l'énergie,
  - 5 - l'énergie nucléaire,
  - 6 - le fonctionnement d'un réacteur nucléaire,
  - 7 - le cycle du combustible,
  - 8 - la microélectronique,
  - 9 - le laser,
  - 10 - l'imagerie médicale,
  - 11 - l'astrophysique nucléaire,
  - 12 - l'hydrogène,
  - 13 - le soleil,
  - 14 - les déchets radioactifs,
  - 15 - le climat,
  - 16 - la simulation numérique,
  - 17 - Les séismes,
  - 18 - Le nanomonde.

Des exemplaires de ces documents peuvent être obtenus gratuitement sur simple demande à la Direction de la communication du CEA.

Retrouvez toutes l'actualité du CEA, des dossiers, des animations... sur le site [www.cea.fr](http://www.cea.fr).



Centre de culture scientifique, le Visiatome propose, à Marcoule, une exposition permanente, ludique et interactive ainsi que des activités pédagogiques sur la radioactivité, les énergies, les modes de traitement des déchets radioactifs et des déchets en général.

Une visite à faire en famille ou dans le cadre scolaire.

Renseignements : 04 66 39 78 78 et [www.visiatome.fr](http://www.visiatome.fr)