

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

|   |                                     |           |   |  |
|---|-------------------------------------|-----------|---|--|
| France : bilan de l'énergie en 2008   | France: energy balance for 2008     | 29        | Les déchets produits en France  | 52   |
| <b>PRODUCTION</b>   |                                     |           | Les déchets radioactifs   | 52   |
| Monde : capacités électriques installées au 1 <sup>er</sup> janvier 2006  |                                     | 31        | Principaux éléments contenus dans les combustibles usés   | 54   |
| World: electricity installed capacities as of 1 <sup>st</sup> january of 2006   |                                     |           | Main elements comprised in used fuel  |  |
| Production d'électricité d'origine nucléaire par pays fin 2009  |                                     | 32        | Classification des déchets  | Waste classification 55                            |
| Electricity generation from nuclear power plants by country at the end of 2009  |                                     |           | Déchets ultimes issus du traitement du combustible d'un REP 1 000 MWe   | 56   |
| Monde : production d'électricité par source en 2007   |                                     | 33        | Ultimate waste from fuel reprocessing for a 1000 MWe PWR unit   |  |
| World: electricity generation by fuel for 2007  |                                     |           | Effluents annuels dus au traitement du combustible d'un REP 1 000 MWe   | 56   |
| Monde : production d'électricité  | World: electricity generation       | 34        | Waste generated annually by reprocessing the fuel of a 1000 MWe PWR unit  |  |
| Monde : consommation annuelle d'hydrogène   |                                     | 35        | Effluents et déchets produits en 1996 par les centrales nucléaires en France  | 56   |
| World: annual hydrogen consumption  |                                     |           | Total amount of waste generated by the French nuclear power plants in 1996  |  |
| Monde : production annuelle d'hydrogène   |                                     | 35        | Volumes de résidus générés dans UP3   | 57   |
| World: annual hydrogen production   |                                     |           | Volume of waste generated in the UP3 reprocessing plant   |  |
| Données de base sur l'hydrogène   |                                     | 35        | Production cumulée de déchets radioactifs   | 58   |
| Basic data about hydrogen   |                                     |           |   |  |
| Monde : scénario de référence pour la production électrique   |                                     | 36        | <b>INFORMATIONS GÉNÉRALES</b>   | <b>GENERALITIES 59</b>                             |
| World: reference scenario for electricity generation  |                                     |           | <b>L'HOMME ET LES RAYONNEMENTS</b>  |  |
| Europe : évolution de la production électrique  |                                     | 37        | Quelques définitions  | 60   |
| Europe: evolution of electricity generation   |                                     |           | Grandeurs et unités propres aux rayonnements ionisants  | Physical units for ionizing radiation 61           |
| France : production d'énergie renouvelable  | France: renewable energy production | 38        | Décroissance de la radioactivité d'un radioélément, vie moyenne, période  | 62   |
| France : bilan électrique   | France: electricity balance         | 38        | Radioactive decay, mean life, half life   |  |
| France : production d'électricité thermique par catégorie de combustibles   |                                     | 39        | Périodes effectives de quelques corps radioactifs   | Effective half life for some radioelements 62      |
| France: thermal electricity generation by fuel  |                                     |           | Pouvoir de pénétration des rayonnements ionisants   | Radiation ionizing stopping power 63               |
| Puissances maximales appelées par le réseau en France   |                                     | 39        | Expositions aux rayonnements ionisants  | Ionizing radiation exposure 64                     |
| Peak load demand of the French network  |                                     |           | Répartition des différentes expositions aux rayonnements de la population française   | 64   |
| France : équipement et production électrique par type d'utilisation en 2007   |                                     | 40        | Differents sorts of exposure for the French population  |  |
| France: installed capacity and electricity generation by type of facility for 2007  |                                     |           | Le radon  | 65   |
|   |                                     |           | Carte des activités volumiques du radon dans les habitations en France  | 65   |
|   |                                     |           | Exposition moyenne mondiale aux sources naturelles d'irradiation  | 66   |
|   |                                     |           | World average exposure from natural sources   |  |
| <b>ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ET ÉLECTRONUCLÉAIRE</b>   |                                     | <b>41</b> | L'activité radioactive, exemples  | Examples of natural or human generated activity 67 |
| <b>ELECTRICITY AND NUCLEAR POWER</b>  |                                     |           |   |  |
| Principales caractéristiques des filières électronucléaires   |                                     | 42        | <b>RADIOPROTECTION ET SÛRETÉ NUCLÉAIRE</b>  |  |
| Main characteristics of nuclear reactor types   |                                     |           | Institutions internationales  | 68   |
| <b>GESTION DU COMBUSTIBLE</b>   |                                     |           | Loi sur la transparence et la sécurité en matière nucléaire   | 68   |
| France : caractéristiques des REP 900, 1300, 1450 MWe   |                                     | 43        | L'Autorité de sûreté  | 68   |
| France: Characteristics of the 900, 1300 and 1450 MWe PWR's   |                                     |           | Principes du contrôle de la sûreté nucléaire en France  | 68   |
| Parc électronucléaire français au 01/01/2007  |                                     | 44        | Classement des incidents : échelle INES   | 69   |
| Nuclear power plants in France - Status as of 2007/01/01  |                                     |           | Structure fondamentale de l'échelle INES  | 69   |
| France : évaluation des besoins en uranium et services du cycle du combustible REP  |                                     | 46        | <b>ENVIRONNEMENT</b>  |  |
| France: Uranium and fuel cycle services requirements  |                                     |           | Qu'est-ce que l'effet de serre ?  | 70   |
| Principales caractéristiques d'un réacteur à neutrons rapides   |                                     | 47        | Evolution des concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre au cours du temps   | 70   |
| Le réacteur à neutrons rapides incinérateur d'actinides   |                                     | 47        | History of Greenhouse gas atmospheric rate  |  |
| The fast neutron reactor as an actinide incinerator   |                                     |           | Variation de la température moyenne de la surface terrestre par rapport à 1861  | 71   |
| <b>CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE</b>   |                                     |           | Change in average surface temperature compared to 1861  |  |
| Gestion du combustible sur le parc REP d'EDF  |                                     | 48        | Prévisions en fonction du niveau à l'équilibre CO <sub>2</sub> équiv. de l'augmentation de la température globale   | 71   |
| Cycle simplifié du combustible nucléaire en France  |                                     | 49        | au niveau pré-industriel  |  |
| Monde : besoins en uranium  | World: Uranium requirements         | 50        | Estimations according to CO <sub>2</sub> equiv. equilibrium of the global average Earth's surface temperature increasing compared to pre-industrial level |  |
| Définition de l'UTS   |                                     | 50        | Répartition des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'origine anthropogénique en 2004   | 72   |
| Monde : capacité nominale d'enrichissement de l'uranium   |                                     | 50        | World anthropogenic greenhouse gases emission in 2004   |  |
| World: Uranium enrichment capacity  |                                     |           | Emissions de gaz à effet de serre par secteur en 1990 et 2004   | 72   |
| 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 |                                     | 50        | Green House Gases emission by sector in 1990 and 2004   |  |
| 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                     |                                     |           | Les plus gros émetteurs de CO <sub>2</sub> en 2007  | 73   |
| Les procédés d'enrichissement isotopique de l'uranium   |                                     | 51        | The biggest CO <sub>2</sub> emitters in 2007  |  |
| Fabrication de combustible : besoins et capacités de production dans l'OCDE   |                                     | 51        |   |  |
| Fuel manufacture: requirements and capacities in OECD countries   |                                     |           |   |  |
| Usines de traitement des combustibles usés  |                                     | 51        |   |  |
| Used fuel reprocessing units  |                                     |           |   |  |

|  |            |
|--|------------|
| 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>   | <b>100</b> |
| Le CEA, un acteur clef de la recherche technologique   | 101        |
| Etablissements CEA   | 102        |
| Organigramme du CEA  | 103        |
| 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                    | $2,389.10^{-7}$        | $9,479.10^{-4}$                     | $2,778.10^{-7}$ |
| 1 thermie              | th          | $4,186.10^6$         | 1                      | $3,968.10^{+3}$                     | 1,163           |
| 1 British Thermal Unit | Btu         | $1,055.10^3$         | $2,520.10^{-4}$        | 1                                   | $2,930.10^{-4}$ |
| 1 kilowatt-heure       | kWh         | $3,600.10^6$         | $8,600.10^{-1}$        | $3,413.10^3$                        | 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            | $10^{-7}$ | $10^{-13}$      | $3,414.10^{-7}$ | $1,3595.10^{-10}$ |
| Watt          | $10^7$       | 1         | $10^{-6}$       | 3,414           | $1,3595.10^{-3}$  |
| MW            | $10^{13}$    | $10^6$    | 1               | $3,414.10^6$    | $1,3595.10^{+3}$  |
| Btu/heure     | $2,929.10^6$ | 0,2929    | $292,9.10^{-9}$ | 1               | $0,3982.10^{-3}$  |
| Cheval vapeur | $7,355.10^9$ | 735,5     | $735,5.10^{-6}$ | 2 511           | 1                 |

### Unités de volume métriques et anglo-saxonnes

#### Anglo-saxon and metric units conversion

|                        | Litre (l)       | Mètre cube (m³) | Petroleum barrel | U.S. gallon     | Imperial U.K. gallon | U.S. quart   |
|------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------------|--------------|
| 1 litre                | 1               | $10^{-3}$       | $6,290.10^{-3}$  | $2,642.10^{-1}$ | $2,200.10^{-1}$      | 1,057        |
| 1 mètre cube           | $1,000.10^3$    | 1               | 6,290            | $2,642.10^2$    | $2,200.10^2$         | $1,057.10^3$ |
| 1 Petroleum barrel     | $1,590.10^2$    | $1,590.10^{-1}$ | 1                | $4,200.10^1$    | $3,497.10^1$         | $1,680.10^2$ |
| 1 U.S. gallon          | 3,785           | $3,785.10^{-3}$ | $2,381.10^{-3}$  | 1               | $8,327.10^{-1}$      | 4,000        |
| 1 U.K. imperial gallon | 4,546           | $4,546.10^{-3}$ | $2,860.10^{-2}$  | 1,201           | 1                    | 4,804        |
| 1 U.S. quart           | $9,463.10^{-1}$ | $9,463.10^{-4}$ | $5,942.10^{-3}$  | $2,500.10^{-1}$ | $2,082.10^{-1}$      | 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                           | $1,2999.10^{-3}$                        |
| 1 lb U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>        | 0,3846 | 1                                | $0,5.10^{-3}$                           |
| 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<br>Energy or vector   | Unité<br>physique<br>Physical<br>unit | Gigajoules<br>(Gj) (PCI)<br>(NCV) | Tep<br>(PCI)<br>Toe (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<br>Lignite briquettes  | 1 t                                   | 32                                | 32/42 ≈ 0,762             |
| • Lignite et produits de récupération<br>Lignite & recovered products  | 1 t                                   | 17                                | 17/42 ≈ 0,405             |
| <b>Produits pétroliers Petroleum products</b>  |                                       |                                   |                           |
| • Pétrole brut, gazole/fioul domestique,<br>produits à usages non énergétiques<br>Crude oil, automotive diesel/domestic fuel<br>oil, products for not enegy uses         | 1 t                                   | 42                                | 1                         |
| • GPL LPG  | 1 t                                   | 46                                | 46/42 ≈ 1,095             |
| • Essences moteur et carburants<br>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<br/>Natural and industrial gas</b>  | 1 MWh PCS<br>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<br>Nuclear production   | 1 MWh                                 | 3,6                               | 0,086/0,33 ≈ 0,2606       |
| • Production d'origine géothermique<br>Geothermal production   | 1 MWh                                 | 3,6                               | 0,086/0,1 ≈ 0,86          |
| • Autres types de production,<br>échanges avec l'étranger et<br>consommation<br>Other types of production, international<br>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><br>≈ 14,13 l de H <sub>2</sub><br>(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<br>Anthracite & bituminous | Sous-bitumineux et lignite<br>Sub-bituminous & lignite | Total Minéraux solides<br>Coal total | Ratio R/P *<br>Minéraux solides<br>Coal R/P ratio |
|---|---|--|--------------------------------------|---|
|   | Millions tonnes<br>Million tons                     | Millions tonnes<br>Million tons                        | Millions tonnes<br>Million tons      | Années<br>Years                                   |
| Amérique du Nord<br>North America                 | 113 281   | 132 816  | 246 097                              | 235   |
| Amérique latine<br>Latin America                  | 6 964   | 8 042  | 15 006                               | 181   |
| Total Europe et Eurasie<br>Europe & Eurasia total | 102 042   | 170 204  | 272 246                              | 236   |
| Afrique<br>Africa                                 | 33 225  | 174  | 33 399                               | 131   |
| Moyen-Orient<br>Middle East                       |   |  |                                      |   |
| Asie / Pacifique<br>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<br>of which OECD                        | 159 012   | 193 083  | 352 095                              | 174   |

\* Reserves / production 2009

Source: BP Statistical Review of World Energy, juin 2010

| 2009  | Pétrole<br>Oil              | Ratio R/P*<br>Pétrole<br>Oil R/P ratio | Gaz naturel<br>Natural gas                         | Ratio R/P *<br>Gaz naturel<br>Natural gas R/P ratio |
|---|-----------------------------|--|--|---|
|   | Millions tep<br>Million toe | Années<br>Years                        | Milliards m <sup>3</sup><br>Billion m <sup>3</sup> | Années<br>Years                                     |
| Amérique du Nord<br>North America                 | 10 200                      | 15,0                                   | 9 160  | 11,3  |
| Amérique latine<br>Latin America                  | 28 500                      | 80,6                                   | 8 060  | 53,2  |
| Total Europe et Eurasie<br>Europe & Eurasia total | 18 500                      | 21,2                                   | 63 090   | 64,8  |
| Afrique<br>Africa                                 | 16 900                      | 36                                     | 14 760   | 72,4  |
| Moyen-Orient<br>Middle East                       | 102 000                     | 84,8                                   | 76 180   | >100  |
| Asie / Pacifique<br>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<br>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<br>raisonnablement<br>assurées<br>milliers tonnes U<br>(<130\$/kgU)<br>Thousand tons U | Réserves<br>supplémentaires<br>supposées<br>milliers tonnes U<br>(<130\$/kgU)<br>Thousand tons U | Production<br>2006<br>milliers<br>tonnes U<br>Thousand tons U | R/P       |
|---|---|--|---|-----------|
| Amérique du Nord<br>North America         | 670   | 95   | 12  | 58        |
| Amérique Latine<br>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<br>Middle East               | 52  | 69   | 0,04  | 1 294     |
| Asie / Pacifique<br>Asia / Pacific        | 881   | 584  | 8,6   | 102       |
| <b>Total Monde</b><br><b>World total</b>  | <b>3 338</b>  | <b>2 131</b>   | <b>39,6</b>   | <b>84</b> |
| dont OCDE<br>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<br>prouvées 2007<br>Proved reserves<br>A | Production<br>2007<br>C                    | Ratio<br>A/C |
|--|---|--|--------------|
| Pétroles conventionnels<br>+ 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<br>dont                                   | 826 Gt  | 6,4 Gt                                     | 129          |
| Charbon bitumineux<br>(anthracite inclus)          | 411 Gt  | 4,8 Gt                                     | 86           |
| Charbon<br>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           |
| Bitumes naturels                                   | 245 Gbarils                                       | <b>Production<br/>cumulée</b><br>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)<br>UE15: cumulative installed capacity [GW]   |      | 13   | 41   | 49   |      |      |
| EU27: capacité éolienne cumulée (GW)<br>UE27: cumulative installed capacity [GW]   |      |      |      |      | 65   | 75   |
| Monde: capacité éolienne cumulée (GW)<br>World: cumulative installed capacity [GW] | 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)<br>Installed capacity in 2005 [MWe] | 136     | 3 941    | 3 290  | 1 124  | 441     | 8 932  |
| Capacité installée en 2007 [MWe]<br>Installed capacity in 2007 [MWe] | 136     | 4 422    | 3 563  | 1 401  | 517     | 10 039 |
| Production annuelle en 2007 [GWh]<br>Annual output in 2007 [GWh]     | 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 EU25 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)<br>Global cumulative capacity (MWth) | -    | -    | 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)<br>Global cumulative PV capacity (MWp) | 580  | 1 428 | 5 381 | 6 956 | 9 162 | 15 675 | 22 878 |

Source : EPIA

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

Source : EPIA

|   | France        | Europe | Monde World |
|---|---------------|--------|-------------|
| Energie reçue par m² de surface horizontale (kWh/m²/an)<br>Energy received per m² of horizontal surface (kWh/m²/yr) | 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 m³/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 Mm³

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,

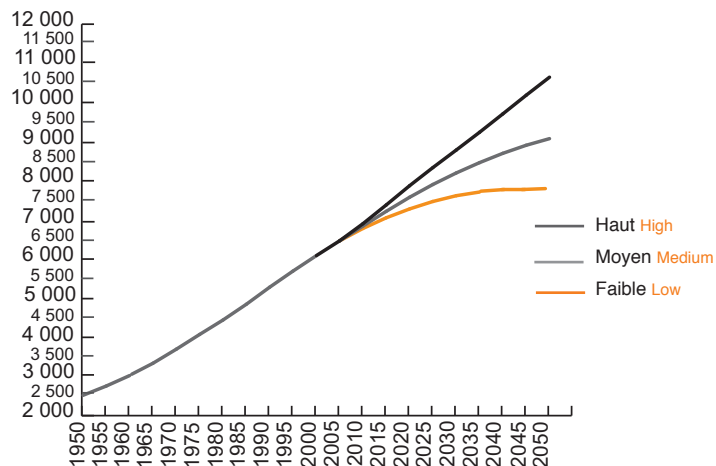
2,85 milliards de litres en Europe dont 0,95 en France

Source : Plateforme biocarburants

## CONSUMMATION

### 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 data for 2007

| Année 2007<br>Year 2007                                      | Population<br>(millions<br>hab) | PIB<br>(PPA<br>milliards<br>US\$2000)<br>GDP<br>(PPP billion<br>US\$2000) | Consommation<br>finale d'énergie <sup>(1)</sup><br>(millions tep)<br>Final consumption<br>of energy <sup>(1)</sup><br>(million toe) | Consommation<br>d'électricité<br>(TWh)<br>Consumption<br>of electricity<br>(TWh) |
|--|---------------------------------|---|---|--|
| Amérique du Nord <sup>(2)</sup><br>North America             | 441                             | 13 684  | 1 908   | 4 888  |
| dont Etats-Unis<br>of which USA                              | 302                             | 11 468  | 1 588   | 4 120  |
| Amérique latine<br>Latin America                             | 461                             | 3 714   | 424   | 847  |
| dont Brésil<br>of which Brazil                               | 192                             | 1 561   | 190   | 413  |
| Europe OCDE<br>OECD Europe                                   | 543                             | 13 223  | 1 287   | 3 387  |
| Europe non OCDE<br>Non OECD Europe                           | 53                              | 509   | 67  | 176  |
| Union européenne 27<br>European Union 27                     | 496                             | 12 393  | 1 224   | 3 168  |
| dont France<br>of which France                               | 64                              | 1 738   | 165   | 495  |
| Ex-URSS<br>FSU   | 284                             | 2 472   | 657   | 1 308  |
| Moyen-Orient<br>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><br>OECD Pacific <sup>(3)</sup> | 202                             | 5 454   | 577   | 1 772  |
| <b>Total Monde</b><br><b>World Total</b>                     | <b>6 609</b>                    | <b>61 428</b>   | <b>8 286</b>  | <b>18 187</b>  |
| dont OCDE<br>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 Énergétiques, AIE, éd 2009 Energy Balances, IEA, 2009 edition

Monde : données générales pour 2007 (suite)

World: General data for 2007

| Année 2007<br>Year 2007   | Consommation<br>finale d'énergie<br>par habitant<br>(kep/hab)<br><br>Final consumption<br>of energy per<br>capita (koe/capita) | Consommation<br>finale d'énergie<br>par unité de PIB <sup>(1)</sup><br>(kep/millier<br>US\$2000)<br><br>Final consumption<br>of energy<br>per GDP unit <sup>(1)</sup><br>(koe/thousand<br>US\$2000) | Consommation<br>finale<br>d'électricité par<br>habitant<br>(kWh/hab)<br><br>Final<br>consumption<br>of electricity<br>per capita<br>(kWh/capita) | Consommation<br>finale d'électricité<br>par unité de PIB <sup>(2)</sup><br>(kWh/millier<br>US\$2000)<br><br>Final consumption<br>of electricity<br>per GDP unit <sup>(2)</sup><br>(kWh/thousand<br>US\$2000) |
|---|--|---|--|--|
| Amérique du Nord <sup>(3)</sup><br>North America <sup>(3)</sup> | 4 329  | 139   | 11 091   | 357  |
| dont Etats-Unis<br>of which USA                                 | 5 256  | 138   | 13 640   | 359  |
| Amérique latine<br>Latin America                                | 920  | 114   | 1 838  | 228  |
| dont Brésil<br>of which Brazil                                  | 991  | 122   | 2 154  | 264  |
| Europe OCDE<br>OECD Europe                                      | 2 370  | 97  | 6 238  | 256  |
| Europe non OCDE<br>Non OECD Europe                              | 1 267  | 132   | 3 305  | 345  |
| Union européenne 27<br>European Union 27                        | 2 468  | 99  | 6 389  | 256  |
| dont France<br>of which France                                  | 2 595  | 95  | 7 785  | 285  |
| Ex-URSS FSU   | 2 316  | 266   | 4 607  | 529  |
| Moyen-Orient<br>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><br>OECD Pacific <sup>(4)</sup>    | 2 863  | 106   | 8 796  | 325  |
| <b>Total Monde</b><br><b>World Total</b>                        | <b>1 254</b>   | <b>135</b>  | <b>2 752</b>   | <b>296</b>   |
| dont OCDE<br>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 renewable 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<br>Mtoe   | 1990         | 1995         | 2000          | 2006          | 2007          | %/an<br>%/year<br>1990-<br>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<br>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<br>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<br>Non OECD Europe                               | 139          | 105          | 94            | 106           | 106           | -1,6                            |
| Union européenne 27<br>European Union 27                         | 1 637        | 1 666        | 1 686         | 1 779         | 1 759         | 0,5                             |
| dont France<br>of which France                                   | 224          | 241          | 253           | 268           | 264           | 1,0                             |
| 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<br>International marine bunkers | 112          | 127          | 147           | 182           | 192           | 2,9                             |
| <b>Total Monde</b><br><b>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  | 4 478        | 4 891        | 5 250         | 5 462         | 5 497         | 1,2                             |

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

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

\* 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<br>Mtoe | %          | Mtep<br>Mtoe  | %          | Mtep<br>Mtoe  | %          | Mtep<br>Mtoe  | %          |
| Amérique du Nord <sup>(1)</sup><br>North America <sup>(1)</sup>                  | 2 243        | 26         | 2 793         | 24         | 2 778         | 21         | 2 974         | 18         |
| Amérique latine<br>Latin America   | 343          | 4          | 551           | 5          | 633           | 5          | 816           | 5          |
| Europe OCDE <sup>(2)</sup><br>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<br>transition <sup>(3)</sup><br>Transition economies <sup>(3)</sup> | 1 546        | 18         | 1 114         | 10         | 1 161         | 9          | 1 354         | 8          |
| Moyen-Orient<br>Middle East  | 220          | 3          | 546           | 5          | 702           | 5          | 1 030         | 6          |
| Afrique Africa   | 388          | 5          | 630           | 5          | 716           | 5          | 873           | 5          |
| Asie en développement<br>Developing Asia   | 1 591        | 18         | 3 346         | 28         | 4 468         | 33         | 6 456         | 38         |
| dont Inde<br>of which India  | 318          | 4          | 595           | 5          | 764           | 6          | 1 287         | 8          |
| dont Chine<br>of which China   | 872          | 10         | 1 970         | 17         | 2 783         | 21         | 3 827         | 23         |
| Pacifique OCDE <sup>(4)</sup><br>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<br>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<br>Biomass & Waste   | 904          | 10         | 1 176         | 10         | 1 338         | 10         | 1 604         | 10         |
| Autres renouvelables<br>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-Yougoslavia + 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)<br>(Mtoe)  | Charbon<br>Coal | Pétrole<br>Oil | Gaz<br>naturel<br>Natural<br>gas | Electricité<br>Electricity | Total        |
|---|-----------------|----------------|----------------------------------|----------------------------|--------------|
| Amérique du Nord <sup>(1)</sup><br>North America <sup>(1)</sup> | 36              | 1 000          | 392                              | 390                        | 1 908        |
| dont Etats-Unis<br>of which USA                                 | 30              | 835            | 321                              | 329                        | 1 588        |
| Amérique latine<br>Latin America                                | 11              | 198            | 61                               | 69                         | 424          |
| dont Brésil<br>of which Brazil                                  | 7               | 85             | 11                               | 34                         | 190          |
| Europe OCDE<br>OECD Europe                                      | 56              | 565            | 281                              | 263                        | 1 287        |
| Europe non OCDE<br>Non OECD Europe                              | 4               | 27             | 13                               | 13                         | 67           |
| Union européenne 27<br>European Union 27                        | 43              | 538            | 276                              | 244                        | 1 224        |
| dont France<br>of which France                                  | 4               | 78             | 32                               | 37                         | 165          |
| Ex-URSS FSU   | 39              | 148            | 226                              | 90                         | 657          |
| Moyen-Orient<br>Middle East                                     | 0,7             | 202            | 111                              | 49                         | 365          |
| Afrique Africa  | 17              | 112            | 28                               | 43                         | 462          |
| Asie Asia   | 523             | 640            | 119                              | 355                        | 2 209        |
| dont : of which:  |                 |                |                                  |                            |              |
| Chine China   | 412             | 315            | 46                               | 234                        | 1 256        |
| Inde India  | 47              | 119            | 18                               | 49                         | 393          |
| Pacifique OCDE <sup>(2)</sup><br>OECD Pacific <sup>(2)</sup>    | 43              | 310            | 65                               | 142                        | 577          |
| <b>Total Monde<br/>World total</b>                              | <b>729</b>      | <b>3 532</b>   | <b>1 296</b>                     | <b>1 414</b>               | <b>8 286</b> |
| dont OCDE<br>of which OECD                                      | 135             | 1 874          | 738                              | 795                        | 3 771        |

(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<br>Mtoe | %          | Mtep<br>Mtoe | %          | Mtep<br>Mtoe | %          | Mtep<br>Mtoe  | %          |
| Amérique du Nord <sup>(1)</sup><br>North America <sup>(1)</sup>               | 1 538        | 25         | 1 908        | 24         | 1 874        | 21         | 2 004         | 18         |
| Amérique latine<br>Latin America  | 259          | 4          | 420          | 5          | 477          | 5          | 610           | 6          |
| Europe OCDE <sup>(2)</sup><br>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><br>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<br>Non OECD Asia  | 1 220        | 20         | 2 207        | 28         | 2 888        | 33         | 4 111         | 38         |
| dont Inde<br>of which India   | 251          | 4          | 391          | 5          | 506          | 6          | 833           | 8          |
| dont Chine<br>of which China  | 668          | 11         | 1 256        | 16         | 1 730        | 20         | 2 353         | 21         |
| Pacifique OCDE <sup>(4)</sup><br>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<br>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<br>Biomass & Waste  | 797          | 13         | 1 029        | 12         | 1 139        | 12         | 1 270         | 11         |
| Autres Renouvelables<br>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-Yougoslavia + 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<br>Year 2007                                  | Population<br>(millions<br>habitants)<br><br>(million<br>inhabitants) | PIB<br>(PPA<br>milliards<br>US\$2000)<br>GDP (PPP<br>billion<br>US\$2000) | Approvision-<br>nement en<br>énergie primaire<br>(millions tep)<br>Primary energy<br>supply<br>(million toe) | Consommation<br>finale<br>d'énergie<br>(millions tep)<br>Final consumption<br>of energy<br>(million toe) | Consommation<br>d'électricité<br>(TWh)<br>Electricity<br>consumption<br>(TWh) |
|--|---|---|--|--|---|
| Allemagne<br>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<br>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<br>Netherlands                                  | 16,4  | 534   | 80   | 61   | 116   |
| Pologne Poland   | 38,1  | 533   | 97   | 65   | 140   |
| Portugal   | 10,6  | 188   | 25   | 20   | 52  |
| Rép. Tchèque<br>Czech Republic                           | 10,3  | 209   | 46   | 27   | 67  |
| Rép. Slovaque<br>Slovak Republic                         | 5,4   | 90  | 18   | 12   | 29  |
| Roumanie<br>Romania                                      | 21,5  | 200   | 39   | 26   | 53  |
| Royaume-Uni<br>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<br/>européenne (27)<br/>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)

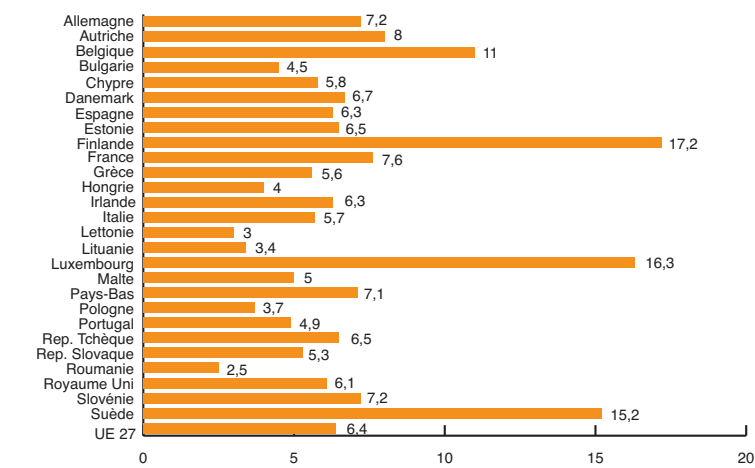
Source : Bilans Energétiques, AIE, éd 2009 Energy Balances, IEA, 2009 ed

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

| Année 2007<br>Year 2007                              | Consommation finale d'énergie par unité de PIB <sup>(1)</sup><br>(kep/millier US\$2000)<br>Final energy consumption per GDP unit <sup>(1)</sup><br>(koe/thousand US\$2000) | Consommation d'électricité par habitant (kWh/hab)<br>Electricity consumption per head (kWh/head) | Consommation d'électricité par unité de PIB <sup>(2)</sup><br>(kWh/millier US\$2000)<br>Electricity consumption per GDP unit <sup>(2)</sup><br>(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 Romania                                     | 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)<br/>European Union (27)</b> | <b>99</b>  | <b>6 421</b>   | <b>256</b>   |

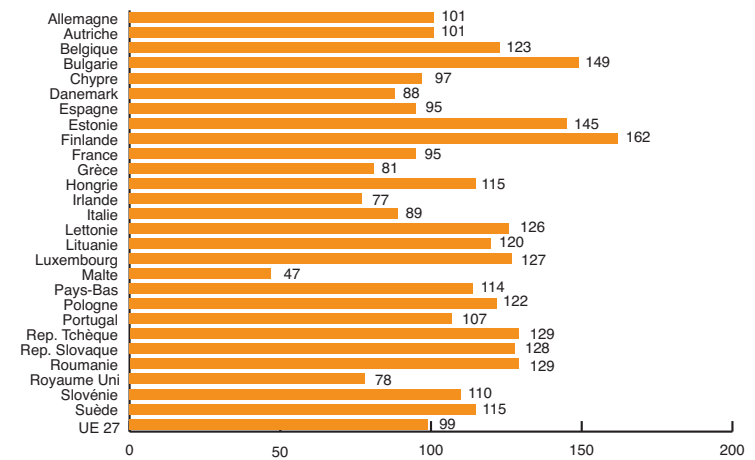
(1) Consommation finale d'énergie / PIB Final consumption of energy / GDP  
(2) Consommation finale d'électricité / PIB Final consumption of electricity/ GDP  
Les combustibles renouvelables et déchets ne sont pas inclus pour les pays non-OCDE (Bulgarie, Chypre, Malte, Roumanie, Sloénie et Etats-Baltes) - 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 (corrigée du climat) par énergie

France: primary energy consumption (corrected for climate) by energy

| Mtep<br>Mtoe   | 1973       | 1980       | 1990       | 2000       | 2009       | %/an<br>1973-2009 | Parts (%)<br>1973 | Share (%)<br>2009 |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Charbon <i>Coal</i>  | 28         | 31         | 19         | 14         | 11         | -2,6              | 15,5              | 4,2               |
| Pétrole <i>Oil</i>   | 122        | 107        | 88         | 95         | 83         | -1,1              | 67,7              | 31,9              |
| Gaz <i>Gas</i>   | 13         | 21         | 26         | 38         | 39         | 3,1               | 7,3               | 15,0              |
| Electricité<br>primaire <sup>(1)</sup><br><i>Primary<br/>electricity <sup>(1)</sup></i>                  | 8          | 22         | 83         | 109        | 111        | 7,7               | 4,3               | 42,7              |
| Energies<br>renouvelables<br>thermiques<br>et déchets<br><i>Thermal renewable<br/>energies and waste</i> | 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 (corrigée du climat) par énergie

France: final energy consumption (corrected for climate) by energy

| Mtep<br>Mtoe   | 1973       | 1980       | 1990       | 2000       | 2009       | %/an<br>1973-2009 | Parts (%)<br>1973 | Share (%)<br>2009 |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Charbon <i>Coal</i>  | 18         | 13         | 10         | 7          | 5          | -3,5              | 13,2              | 3,2               |
| Pétrole <i>Oil</i>   | 85         | 78         | 71         | 74         | 67         | -0,7              | 63,9              | 43                |
| Gaz <i>Gas</i>   | 9          | 17         | 23         | 33         | 34         | 3,8               | 6,5               | 22                |
| Electricité<br><i>Electricity</i>  | 13         | 18         | 26         | 34         | 37         | 2,9               | 9,7               | 23,7              |
| Energies<br>renouvelables<br>thermiques<br><i>Thermal<br/>renewable<br/>energies</i> | 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 (corrigée du climat) par secteur

France: final energy consumption (corrected for climate) by sector

| Mtep<br>Mtoe   | 1973       | 1980       | 1990       | 2000       | 2009       | %/an<br>1973-2009 | Parts (%)<br>1973 | Share (%)<br>2009 |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Industrie <i>Industry</i>                                | 48         | 45         | 38         | 39         | 33         | -1,0              | 33,1              | 19,8              |
| dont sidérurgie<br>of which iron and<br>steel industry   | 13         | 11         | 7          | 6          | 4          | -3,0              | 8,6               | 2,5               |
| Résidentiel-<br>tertiaire<br><i>Residential-tertiary</i> | 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<br><i>Energy total</i>                 | 134        | 134        | 141        | 158        | 156        | 0,4               | 92,4              | 92,4              |
| Total non énergétique<br><i>Not energy total</i>         | 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)<br>(Mtoe)   | Réalisé<br><i>Realized</i> |       | Scénario tendanciel<br><i>Business as usual scénario</i> |       |       | TCAM 2006-2030<br>%/year 2006-2030 |
|--|----------------------------|-------|--|-------|-------|------------------------------------|
|  | 1990                       | 2000  | 2006   | 2020  | 2030  | %/an                               |
| Charbon <i>Coal</i>  | 19,2                       | 14,2  | 12,4   | 10    | 10,3  | -0,8                               |
| Pétrole <i>Oil</i>   | 88,8                       | 95,5  | 91,8   | 90    | 91,2  | 0,0                                |
| Gaz naturel <i>Natural gas</i>                                 | 26,4                       | 37,3  | 40,3   | 59,4  | 70,3  | 2,3                                |
| Electricité * <i>Electricity *</i>                             | 83,4                       | 109,2 | 117,6  | 129,4 | 133,5 | 0,5                                |
| dont d'origine<br>renouvelable<br>of which renewable           |                            |       | 5,5  | 9,4   | 10    | 2,5                                |
| Autres renouvelables<br>et déchets<br>other renewable & wastes | 12,1                       | 13,3  | 13,1   | 18,4  | 20,7  | 1,9                                |
| Total énergie primaire<br><i>Total primary energy</i>          | 230                        | 269   | 275  | 313   | 326   | 0,7                                |

\* Solde des échanges *Balance of imports and exports*

TCAM : Taux de Croissance Annuel Moyen

Source : DGEMP-OE, Minefi



# France : bilans électriques

France: electricity balances

| TWh  | Consommation<br>Consumption  |                      | Echanges<br>avec<br>l'étranger<br>(3)<br>Balance (3) | Production intérieure<br>Inland Production        |                      |                      |  |       |
|------|------------------------------|----------------------|--|---|----------------------|----------------------|--|-------|
|      | Intérieure (1)<br>Inland (1) | Nette (2)<br>Net (2) |  | Thermique<br>classique<br>Conventional<br>Thermal | Hydraulique<br>Hydro | Nucléaire<br>Nuclear | Autres<br>renouvelables<br>Other<br>renewables | Total |
| 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<br>(dont éolien : 4)                       | 545   |
| 2008 | 495                          | 461                  | -47  | 53  | 68                   | 418                  | 9,6<br>(dont éolien : 5,6)                     | 549   |
| 2009 | 486                          | 453                  | -25  | 55  | 62                   | 390                  | 12,2<br>(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 RE      | Total |
|---|-----------------------------------|------------------|-------|-------------|---------|-------------|----------------------|-------------------------|----------------|----------------|-------|
| 2008  | Houille Lignite <sup>(1)</sup>    | Coke, agglomérés | Brut  | Raffiné     | Naturel | Industriels | Prod. <sup>(2)</sup> | Cons.                   | <sup>(3)</sup> | <sup>(4)</sup> |       |
|   | Hard coal, lignite <sup>(1)</sup> | Coke, briquettes | Crude | Refined     | Natural | Industrial  |                      |                         |                |                |       |
| Approvisionnement Supply  |                                   |                  |       |             |         |             |                      |                         |                |                |       |
| 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 <sup>(5)</sup>   | -1,4                              |                  |       | 0,3         | 0,1     |             |                      |                         |                | -1,1           |       |
| Soutes maritimes internationales International marine bunkers   |                                   |                  |       | -2,5        |         |             |                      |                         |                | -2,5           |       |
| Emplois Employment  |                                   |                  |       |             |         |             |                      |                         |                |                |       |
| 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) |                                   |                  |       |             |         |             |                      |                         |                |                |       |
| 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 Mtoe   | Charbon Coal  |                                   | Pétrole Oil |                 | Gaz Gas         |                        | Electricité Electricity |                      | ENR th RF      | Total          |
|---|---|-----------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|----------------|
| 2008  | Houille Lignite <sup>(1)</sup><br>Hard coal, lignite <sup>(1)</sup> | Coke, agglomérés Coke, briquettes | Brut Crude  | Raffiné Refined | Naturel Natural | Industriels Industrial | Prod. <sup>(2)</sup>    | Cons. <sup>(3)</sup> | <sup>(3)</sup> | <sup>(4)</sup> |
| Résidentiel-Tertiaire<br>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 <sup>(6)</sup>   |   |                                   |             | 46,6            | 0,1             |                        |                         | 1,1                  | 2,4            | 50,2           |
| Consommation finale non-énergétique (C)<br>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)<br/>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)<br>01/01/2006  | Thermique conventionnel<br>Conventional thermal | Hydraulique<br>Hydroelectric | Nucléaire<br>Nuclear | Renouvelables et déchets (hors hydraulique)<br>Renewable and waste (excepting hydro) | Total        |
|---|---|------------------------------|----------------------|--|--------------|
| Amérique du Nord <sup>(1)</sup><br>North America <sup>(1)</sup> | 762   | 78                           | 100                  | 25   | 965          |
| dont Etats-Unis<br>of which United States                       | 762   | 78                           | 100                  | 25   | 965          |
| Amérique Latine<br>Latin America                                | 82  | 128                          | 3                    | 7  | 220          |
| dont Brésil<br>of which Brazil                                  | 14  | 71                           | 2                    | 6  | 93           |
| Europe  | 458   | 165                          | 136                  | 52   | 810          |
| dont UE 27<br>of which EU 27                                    | 425   | 131                          | 133                  | 51   | 740          |
| dont France<br>of which France                                  | 26  | 21                           | 63                   | 1  | 112          |
| ex-URSS <sup>(2)</sup> FSU <sup>(2)</sup>                       | 238   | 68                           | 39                   | 0  | 345          |
| Moyen-Orient<br>Middle East                                     | 136   | 9                            | 0                    | 0  | 145          |
| Afrique Africa  | 86  | 22                           | 2                    | 0  | 110          |
| Asie & Océanie <sup>(3)</sup><br>Asia & Oceania <sup>(3)</sup>  | 655   | 188                          | 16                   | 11   | 870          |
| dont Chine<br>of which China                                    | 391   | 117                          | 7                    | 2  | 518          |
| dont Inde<br>of which India                                     | 102   | 32                           | 3                    | 6  | 144          |
| Pacifique OCDE <sup>(4)</sup><br>OECD Pacific <sup>(4)</sup>    | 1 149   | 338                          | 26                   | 19   | 1 531        |
| <b>Total Monde<br/>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<br>Countries                  | Production électrique<br>totale (TWh nets)<br>(Net total generation) | Production électrique<br>nucléaire (TWh nets)<br>(Net nuclear generation) | Part du nucléaire<br>dans la production<br>%<br>(Nuclear share) |
|------------------------------------|--|---|---|
| Afrique du Sud <i>South Africa</i> | 239  | 12  | 4,8   |
| Allemagne <i>Germany</i>           | 489  | 128   | 26,1  |
| Argentine <i>Argentina</i>         | 109  | 8   | 7,0   |
| Arménie <i>Armenia</i>             | 5  | 2   | 45,0  |
| Belgique <i>Belgium</i>            | 87   | 45  | 51,7  |
| Brésil <i>Brazil</i>               | 417  | 12  | 2,9   |
| Bulgarie <i>Bulgaria</i>           | 40   | 14  | 35,9  |
| Canada                             | 574  | 85  | 14,8  |
| Chine <i>China</i>                 | 3 477  | 66  | 1,9   |
| Corée du Sud <i>South Korea</i>    | 406  | 141   | 34,8  |
| Espagne <i>Spain</i>               | 289  | 51  | 17,5  |
| Etats-Unis <i>USA</i>              | 3 951  | 797   | 20,2  |
| Finlande <i>Finland</i>            | 69   | 23  | 32,9  |
| <b>France</b>                      | <b>521</b>   | <b>392</b>  | <b>75,2</b>   |
| Hongrie <i>Hungary</i>             | 33   | 14  | 43,0  |
| Inde <i>India</i>                  | 683  | 15  | 2,2   |
| Japon <i>Japan</i>                 | 892  | 261   | 29,2  |
| Lituanie <i>Lithuania</i>          | 13   | 10  | 76,9  |
| Mexique <i>Mexico</i>              | 211  | 10  | 4,8   |
| Pakistan                           | 96   | 3   | 2,7   |
| Pays-Bas <i>Netherlands</i>        | 109  | 4   | 3,7   |
| Rép.tchèque <i>Czech Republic</i>  | 76   | 26  | 33,8  |
| Roumanie <i>Romania</i>            | 52   | 11  | 20,6  |
| Royaume-Uni <i>United Kingdom</i>  | 351  | 63  | 17,9  |
| Russie <i>Russia</i>               | 857  | 153   | 17,8  |
| Slovaquie <i>Slovakia</i>          | 24   | 13  | 53,5  |
| Slovénie <i>Slovenia</i>           | 14   | 5   | 37,8  |
| Suède <i>Sweden</i>                | 134  | 50  | 37,5  |
| Suisse <i>Switzerland</i>          | 72   | 26  | 36,5  |
| Taiwan (Chine / <i>China</i> )     | 193  | 40  | 20,7  |
| Ukraine <i>Ukraine</i>             | 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<br>Coal | Pétrole<br>Oil | Gaz<br>naturel<br>Natural<br>gas | Nucléaire<br>Nuclear | Hydraulique<br>Hydro | Autres<br>Others | Total      |
|---|-----------------|----------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|------------------|------------|
| Amérique<br>du Nord <sup>(1)</sup><br><i>North America <sup>(1)</sup></i> | 43,4            | 3              | 21                               | 18                   | 12,4                 | 2,8              | 100        |
| dont Etats-Unis<br>of which <i>USA</i>                                    | 49,0            | 1,8            | 21,2                             | 19                   | 5,8                  | 2,9              | 100        |
| Amérique latine<br><i>Latin America</i>                                   | 3               | 12,5           | 12,7                             | 1,9                  | 66,5                 | 3,1              | 100        |
| dont Brésil<br>of which <i>Brazil</i>                                     | 2,3             | 3              | 3,5                              | 3                    | 84,0                 | 4,3              | 100        |
| Europe OCDE<br><i>OECD Europe</i>   | 28,3            | 3,1            | 22,4                             | 25,9                 | 13,9                 | 6,4              | 100        |
| Europe non-OCDE<br><i>Non OECD Europe</i>                                 | 47,8            | 6              | 9                                | 14,2                 | 22,4                 | 0,3              | 100        |
| Union<br>européenne 27<br><i>European Union 27</i>                        | 30,8            | 3,4            | 21,8                             | 28,1                 | 9,3                  | 6,6              | 100        |
| dont France<br>of which <i>France</i>                                     | 5,0             | 1,1            | 3,9                              | 77,9                 | 10,3                 | 1,8              | 100        |
| Ex-URSS <i>FSU</i>  | 20,5            | 2              | 42,6                             | 17,8                 | 16,5                 | 0,3              | 100        |
| Moyen-Orient<br><i>Middle East</i>  | 5,2             | 35             | 56,7                             | 0                    | 3,2                  | 0                | 100        |
| Afrique <i>Africa</i>   | 43,4            | 11,1           | 27,6                             | 2                    | 15,6                 | 0,5              | 100        |
| Asie <sup>(2)</sup> <i>Asia <sup>(2)</sup></i>                            | 47,5            | 8,8            | 23,8                             | 3,4                  | 14,3                 | 2,2              | 100        |
| dont Inde<br>of which <i>India</i>  | 68,4            | 4,1            | 8,3                              | 2,1                  | 15,4                 | 1,7              | 100        |
| Chine <i>China</i>  | 80,9            | 1              | 1                                | 1,9                  | 15                   | 0,4              | 100        |
| Pacifique OCDE <sup>(3)</sup><br><i>OECD Pacific <sup>(3)</sup></i>       | 36,7            | 9,9            | 22,9                             | 22,0                 | 6,3                  | 2,2              | 100        |
| <b>Total Monde</b><br><b><i>World Total</i></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<br>which <i>OECD</i>  | 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<br>1990-2007<br>%/year |
|---|---------------|---------------|---------------|-----------------------------|
| Amérique du Nord <sup>(1)</sup><br>North America <sup>(1)</sup> | 3 809         | 4 835         | 5 220         | 2                           |
| dont Etats-Unis<br>of which USA                                 | 3 203         | 4 026         | 4 323         | 2                           |
| Amérique latine<br>Latin America                                | 492           | 778           | 1 007         | 4                           |
| dont Brésil<br>of which Brazil                                  | 223           | 349           | 445           | 4                           |
| Europe OCDE OECD Europe   | 2 632         | 3 200         | 3 577         | 2                           |
| Union européenne 27<br>European Union 27                        | 2 568         | 2 997         | 3 328         | 2                           |
| dont France<br>of which France                                  | 417           | 536           | 564           | 2                           |
| Europe non OCDE<br>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><br>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<br>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<br>of which ammonia producers     | 250                             | 45         | 212                             | 33         |
| dont raffineries<br>of which refineries                      | 185                             | 34         | 320                             | 51         |
| dont production de méthanol<br>of which methanol producers   | 40                              | 7          | 50                              | 8          |
| dont autres <sup>(1)</sup><br>of which others <sup>(1)</sup> | 25                              | 5          | 19                              | 3          |
| Usages marchands<br>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><br>119,9 MJ/kg |
| PCS <sup>(2)</sup> HHV <sup>(2)</sup>  | 12,77 MJ/Nm <sup>3</sup><br>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><br>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><br>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><br>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<br>Non OECD Asia  | 1 273         | 11         | 5 095         | 26         | 8 233         | 34         | 14 101        | 41         |
| dont Inde<br>of which India   | 289           | 2          | 792           | 4          | 1 271         | 5          | 2 737         | 8          |
| dont Chine<br>of which China  | 650           | 6          | 3 318         | 17         | 5 622         | 23         | 8 847         | 26         |
| Pacifique OCDE <sup>(4)</sup><br>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<br>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<br>Biomass & Waste  | 131           | 1          | 259           | 1          | 408           | 2          | 839           | 2          |
| Autres renouvelables<br>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-Yougoslavie + 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 %/year<br>1973-2007 | %/an %/year<br>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<br>Slovak Republic | 12           | 20           | 23           | 31           | 28           | 2,4                      | -1,4                     |
| Rép. tchèque<br>Czech Republic   | 41           | 53           | 63           | 73           | 88           | 2,3                      | 2,7                      |
| Roumanie Romania                 | 47           | 67           | 64           | 52           | 62           | 0,8                      | 2,5                      |
| Royaume-Uni<br>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) 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 Thermique<br>(GWh) | Thermal<br>(ktep) | Electricité Thermique<br>(GWh) | Thermal<br>(ktep) | Electricité Thermique<br>(GWh) | Thermal<br>(ktep) | Electricité Thermique<br>(GWh) | Thermal<br>(ktep) | Electricité Thermique<br>(GWh) | Thermal<br>(ktep) |
| Hydraulique<br>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<br>Geothermal energy                            | 29                             | 130               | 78                             | 130               | 29                             | 114               | 95                             | 109               | 89                             | 114               |
| Pompes à chaleur<br>Heat pump                              |                                | 321               |                                | 437               |                                | 286               |                                | 348               |                                | 460               |
| Déchets urbains renouvelables<br>Renewable municipal waste | 1 621                          | 358               | 1 530                          | 322               | 1 595                          | 310               | 1 793                          | 319               | 1 887                          | 325               |
| Bois et déchets de bois<br>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<br>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<br>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 <sup>(1)</sup></b>                        | <b>16 082</b>                  |                   | <b>16 104</b>                  |                   | <b>14 792</b>                  |                   | <b>15 760</b>                  |                   | <b>17 846</b>                  |                   |
| <b>Total in ktoe <sup>(1)</sup></b>                        |                                |                   |                                |                   |                                |                   |                                |                   |                                |                   |

\* Métropole + DOM mother country + Overseas Departments

(1) Rappel : la conversion des kWh électriques se fait selon 1 GWh = 0,086 ktep excepté pour la géothermie où l'équivalence est 1 GWh = 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<br>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<br>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<br/>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)<br>Net Thermal generation | Combustible utilisé (%) Fuel used (%)   |           |                            |                                |                      |
|------|--|---|-----------|----------------------------|--------------------------------|----------------------|
|      |  | Minéraux solides<br>Mineral solid fuels | Fioul Oil | Gaz naturel<br>Natural gas | Autres <sup>(1)</sup><br>Other | Nucléaire<br>Nuclear |
| 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)<br>Maximum power (GW) | Production (TWh) | Part dans la production de la technologie (%)<br>Share in the technology (%) | Part dans la production totale France (%)<br>Share of France total generation (%) | Puissance maximale RTE (TWh)<br>Maximum capacity injected on RTE network (TWh) | Injections sur réseau<br>Energy injected on RTE network (TWh) | Part des injections dans la production France (%)<br>Share in French production injected (%) |
| Nucléaire<br>Nuclear                           | 63,3  | 418,6            | 88,4   | 76,9  | 63,3   | 418,6   | 76,9   |
| Classique<br>Conventional                      | 24,1  | 55               | 11,6   | 10,1  | 20,7   | 36  | 6,6  |
| Charbon<br>Coal                                | 7,9   | 23,2             | 4,9  | 4,3   | 7,9  | 23  | 4,2  |
| Fioul<br>(≥ 250 MW)<br>Fuel oil                | 6,4   | 2,4              | 0,5  | 0,4   | 6,4  | 2,4   | 0,4  |
| Autres<br>Others                               | 9,8   | 29,4             | 6,2  | 5,4   | 6,4  | 10,6  | 2  |
| <b>Total thermique</b><br><b>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<br>Run-of-river                   | 7,6   | 33,3             | 52,7   | 6,1   | 6,3  | 28,4  | 5,2  |
| Eclusée<br>Pondage                             | 4,3   | 10,7             | 16,9   | 2   | 4,2  | 10,4  | 1,9  |
| Lac<br>Reservoir installation                  | 9,3   | 12,6             | 19,9   | 2,3   | 9,2  | 12,2  | 2,3  |
| Pompage<br>Pumped storage                      | 4,2   | 6,6              | 10,5   | 1,2   | 4,2  | 6,6   | 1,2  |
| <b>Total hydraulique</b><br><b>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<br>other renewables                 | 3,1   | 7,9              | 100  | 1,4   | 0,4  | 0,8   | 0,1  |
| dont éolien<br>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<br>Reactor type groups              | Filière<br>Type          | Caloporteur<br>Coolant       |                              | Modérateur<br>Moderator      | Combustible<br>Fuel  |
|---|--------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| Graphite-gaz<br>Gas-graphite                            | AGR                      | CO <sub>2</sub>              | Advanced gas cooled          | Graphite                     | UO <sub>2</sub> enrichi<br>Enriched UO <sub>2</sub><br>U naturel<br>Natural U<br>UO <sub>2</sub> , UC <sub>2</sub> ,<br>ThO <sub>2</sub> ... |
|   | MGUNGG                   | CO <sub>2</sub>              | Magnox gas cooled            |                              |  |
|   | HTR (GT-MHR, PBMR)       | He                           | High temperature             |                              |  |
| Eau lourde<br>Heavy water                               | PHWR                     | Eau lourde<br>Heavy water    | Sous pression<br>Pressurized | Eau lourde<br>Heavy water    | UO <sub>2</sub> naturel ou enrichi<br>Natural or enriched UO <sub>2</sub>  |
| Eau ordinaire<br>Light water                            | BWR (ABWR)               | Eau ordinaire<br>Light water | Bouillante<br>Boiling        | Eau ordinaire<br>Light water | UO <sub>2</sub> enrichi<br>Enriched UO <sub>2</sub><br>ou or<br>UO <sub>2</sub> enrichi et Mox<br>Enriched UO <sub>2</sub> and MOX           |
|   | PWR (APWR, WWER)         | Eau ordinaire<br>Light water | Sous pression<br>Pressurized |                              |  |
| Neutrons rapides<br>Fast reactor                        | Surgénérateur<br>Breeder | Sodium                       |                              |                              | UO <sub>2</sub> enrichi - PuO <sub>2</sub><br>Enriched UO <sub>2</sub> - PuO <sub>2</sub>  |
| Eau graphite<br>Water graphite                          | RBMK (LWGR)              | Eau ordinaire<br>Light water | Bouillante<br>Boiling        | Graphite                     | UO <sub>2</sub> enrichi<br>Enriched UO <sub>2</sub>  |
| Eau ordinaire - eau lourde<br>Light water - heavy water | HWLWR (ATR)              | Eau ordinaire<br>Light water | Bouillante<br>Boiling        | Eau lourde<br>Heavy water    | UO <sub>2</sub> enrichi - PuO <sub>2</sub><br>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<br>Main characteristics   | REP 900 MWe<br>PWR 900 |                         | REP 1300 MWe<br>PWR 1300 |        | REP 1450 MWe<br>PWR 1450 |
|--|------------------------|-------------------------|--------------------------|--------|--------------------------|
| Puissance électrique nette (MWe)<br>Net electric capacity (Mwe)  | 880 à 915              |                         | 1 300 à 1 335            |        | 1 455                    |
| Puissance thermique (MWth)<br>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<br>Number of fuel Assemblies   | 157                    |                         | 193                      |        | 205                      |
| Nombre de crayons par assemblage<br>Number of rods per assembly  | 264                    |                         | 264                      |        | 264                      |
| Poids d'uranium par assemblage (kg)<br>Weight of uranium per assembly (kg)   | 461,7                  |                         | 538,5                    |        | 538,5                    |
| <b>Première charge Initial Loading</b><br>Masse d'uranium enrichi (tonnes)<br>Weight of enriched uranium (t)             | 72,5                   |                         | 104                      |        | 110,5                    |
| Enrichissement initial moyen (%)<br>Average initial enrichment   | 2,43                   |                         | 2,28                     |        | 2,29                     |
| Besoin en uranium naturel (tonnes) <sup>(6)</sup><br>Natural uranium requirements (t) <sup>(6)</sup>                     | 316                    |                         | 423                      |        | 449                      |
| Besoin en enrichissement (milliers d'UTS)<br>Enrichment requirements (10 <sup>3</sup> SWU)                               | 225                    |                         | 294                      |        | 312                      |
| <b>Recharge à l'équilibre Equilibrium reload</b><br>Nombre d'assemblage par recharge<br>Number of assemblies per reload  | (1) 40                 | (2) 28 (+16)            | (3) 64                   | (4) 64 | (5) 69                   |
| Masse de métal lourd (tonnes)<br>Weight of heavy metal (t)   | 18,5                   | 12,9 (+7,4)             | 34,5                     | 34,5   | 37,2                     |
| Enrichissement (%) Enrichment (%)  | 3,7                    | 3,7                     | 3,1                      | 4,0    | 3,4                      |
| Besoin en uranium naturel (tonnes) <sup>(7)</sup><br>Natural uranium requirements (t) <sup>(7)</sup>                     | 153                    | 107 (+0) <sup>(8)</sup> | 235                      | 310    | 280                      |
| Besoin en enrichissement (milliers d'UTS) <sup>(7)</sup><br>Enrichment requirements (10 <sup>3</sup> SWU) <sup>(7)</sup> | 87                     | 61 (+0) <sup>(8)</sup>  | 124                      | 182    | 154                      |
| Irradiation moyenne (MWj/t)<br>Burn-up (MWd/t)   | 41 200                 | (33 800)                | 32 100                   | 43 500 | 39 000                   |
| Séjour en réacteur (mois)<br>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<br>Reactor typeName of the unit    | Nom des unités<br>Net capacity MWe | Puissance - MWe nets<br>Year of commercial operation | Année de MSI |
|---|------------------------------------|--|--------------|
| 58 unités REP 58 PWR units<br>62,9 GWe nets<br>62,9 net GWe | <i>Fessenheim-1</i>                | 880  | 1978         |
|   | <i>Fessenheim-2</i>                | 880  | 1978         |
|   | <i>Bugey-2</i>                     | 910  | 1979         |
|   | <i>Bugey-3</i>                     | 880  | 1979         |
|   | <i>Bugey-4</i>                     | 880  | 1979         |
|   | <i>Bugey-5</i>                     | 900  | 1980         |
|   | <i>Dampierre-1</i>                 | 890  | 1980         |
|   | <i>Gravelines-1</i>                | 915  | 1980         |
|   | <i>Tricastin-1</i>                 | 880  | 1980         |
|   | <i>Tricastin-2</i>                 | 880  | 1980         |
|   | <i>Gravelines-2</i>                | 915  | 1980         |
|   | <i>Dampierre-2</i>                 | 890  | 1981         |
|   | <i>Dampierre-3</i>                 | 890  | 1981         |
|   | <i>Gravelines-3</i>                | 915  | 1981         |
|   | <i>Gravelines-4</i>                | 915  | 1981         |
|   | <i>Tricastin-3</i>                 | 880  | 1981         |
|   | <i>Tricastin-4</i>                 | 880  | 1981         |
|   | <i>Dampierre-4</i>                 | 890  | 1981         |
|   | <i>Blayais-1</i>                   | 910  | 1981         |
|   | <i>Saint-Laurent-B-1</i>           | 890  | 1983         |
|   | <i>Saint-Laurent-B-2</i>           | 890  | 1983         |
|   | <i>Blayais-2</i>                   | 910  | 1983         |
|   | <i>Blayais-3</i>                   | 910  | 1983         |
|   | <i>Blayais-4</i>                   | 910  | 1983         |
|   | <i>Chinon-B-1</i>                  | 920  | 1984         |
|   | <i>Cruas-Meyssse-1</i>             | 915  | 1984         |
|   | <i>Chinon-B-2</i>                  | 920  | 1984         |
|   | <i>Cruas-Meyssse-3</i>             | 915  | 1984         |
| 34 REP-900 34 PWR-900<br>30 660 MWe                         | <i>Gravelines-5</i>                | 915  | 1985         |
|   | Paluel-1                           | 1 330  | 1985         |
|   | <i>Cruas-Meyssse-2</i>             | 915  | 1985         |
|   | Paluel-2                           | 1 330  | 1985         |
|   | <i>Cruas-Meyssse-4</i>             | 915  | 1985         |
| 20 REP-1300 20 PWR-1300<br>26 370 MWe                       | <i>Gravelines-6</i>                | 915  | 1985         |
|   | Paluel-3                           | 1 330  | 1986         |
|   |                                    |  |              |

Source : AIEA

| Regroupement par filière<br>Reactor typeName of the unit       | Nom des unités<br>Capacity net MWe | Puissance - MWe nets<br>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         |
|  | <i>Chinon-B-3</i>                  | 920  | 1987         |
|  | Flamanville-2                      | 1 330  | 1987         |
|  | Cattenom-1                         | 1 300  | 1987         |
|  | Cattenom-2                         | 1 300  | 1988         |
|  | Nogent-1                           | 1 310  | 1988         |
|  | <i>Chinon-B-4</i>                  | 920  | 1988         |
|  | 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<br>4 REP-1450 4 PWR-1450<br>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)<br>Installed nuclear capacity  | 63,1  | 64,7                | 66,3                |
| Production nette d'électricité nucléaire (TWh)<br>Nuclear electricity generation                                      | 390   | 440-445             | 440-450             |
| Besoins en uranium naturel (tU/an)<br>Natural Uranium requirements  | 8 000 | 8 200               | 8 400               |
| Besoins en services d'enrichissement (10 <sup>3</sup> UTS/an)<br>Enrichment requirements                              | 6 000 | 6 120               | 6 240               |
| Besoins en fabrication Manufacturing requirements   |       |                     |                     |
| • de combustible REP U <sub>235</sub> (t ML/an)<br>• 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)<br>• Mox fuel for PWR (t HM/year)   | 120   | 120                 | 120                 |
| Quantités de combustible irradié produites (t ML/an)<br>PWR spent fuel arisings (t HM/year)                           | 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

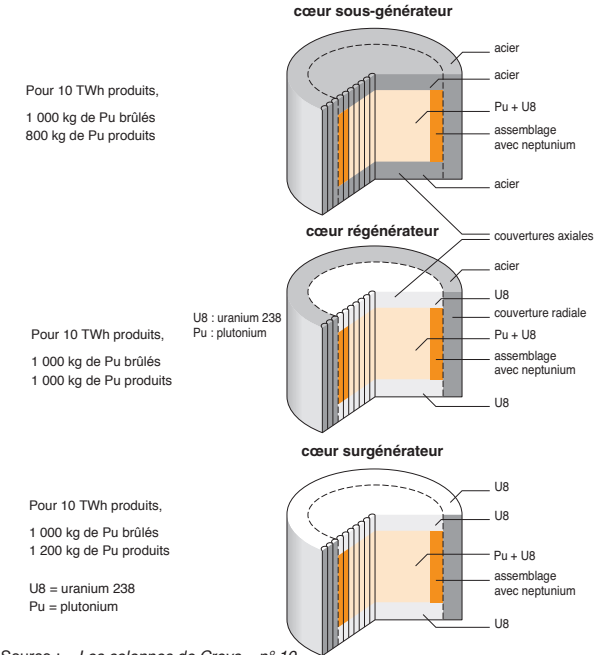
Principales caractéristiques d'un réacteur à neutrons rapides

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

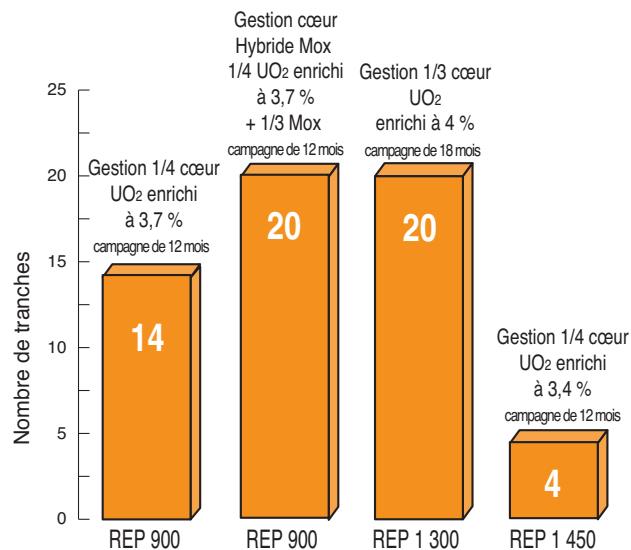


Source : « Les colonnes de Creys » n° 10

## CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE

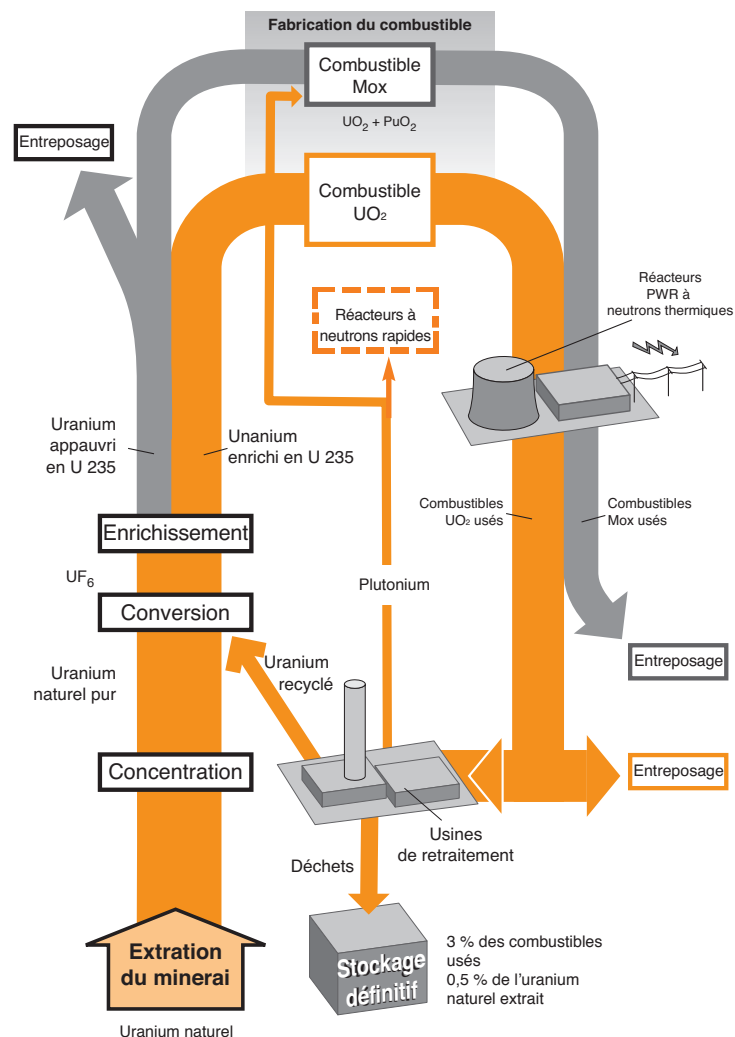
L'uranium naturel extrait du minerai est constitué de 99,3 % d'uranium 238, inerte, et de 0,7 % d'uranium 235, seul susceptible de produire de l'énergie par fission. L'enrichissement permet d'obtenir un combustible  $UO_2$  (oxyde d'uranium) dont la teneur en isotope 235 est portée à environ 3,5 %. Pendant 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)



Source : D'après DSIN

### 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<br>à 75 020 | de 76 870<br>à 86 385 | de 85 390<br>à 98 600 | de 90 935<br>à 110 510 | de 93 775<br>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    |
| Total    |                                    |                                 | 56,335   |

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 (Magneox 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>   |
| Total                | 8 734 <sup>(6)</sup> | 8 318                | 9 157                | 8 844 <sup>(2)</sup> |

(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                      | 800           | oxyde                       | 1976            |
|                              | La Hague UP3                      | 800           | oxyde                       | 1990            |
| 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            |

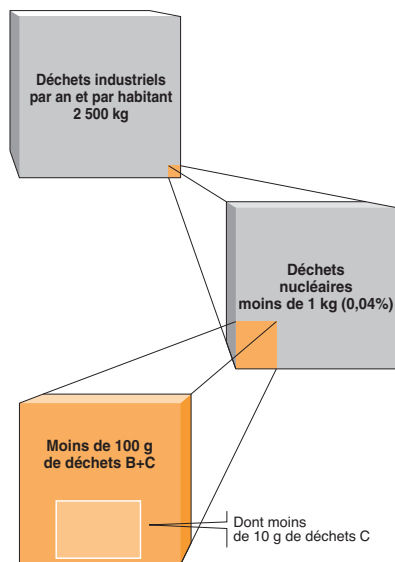
(1) Thermal oxide reprocessing plant

(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 correspondant 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



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 (m³/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                  |

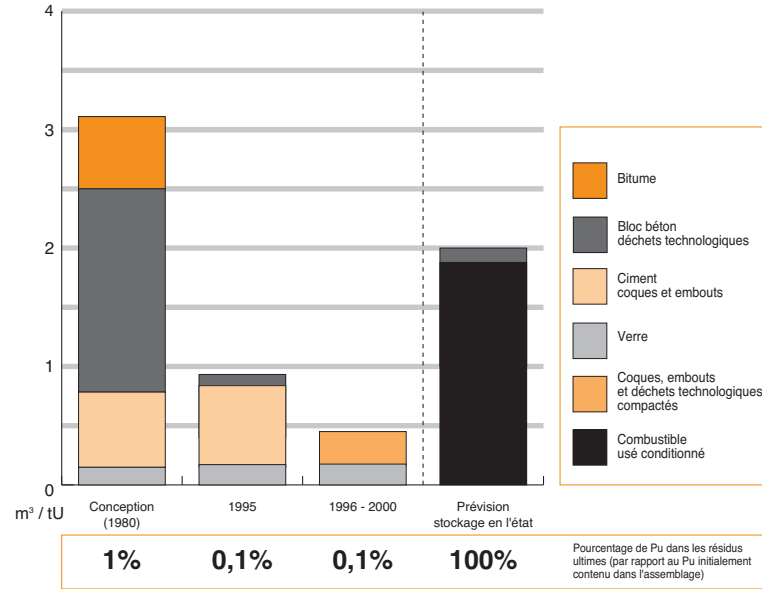
Source : AREVA

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><br>(GBq/TWh)   | Gaz rares            | 867   |
|  | Aérosols + halogènes | 0,009 |
| <b>Effluents liquides</b><br>(GBq/TWh) | Hors tritium         | 0,22  |
|  | Tritium              | 1,778 |
| <b>Déchets solides</b><br>(m³/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

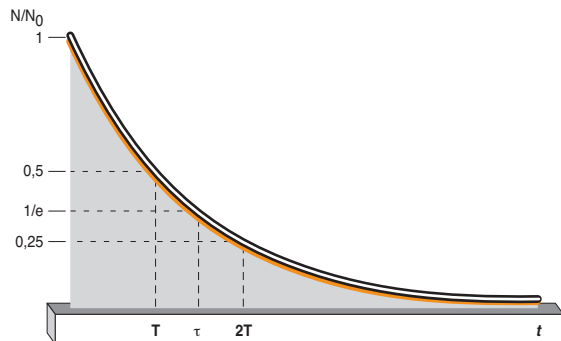
| Grandeurs                         | Unités            | Équivalences                   | Définitions   |
|-----------------------------------|-------------------|--------------------------------|---|
| <b>ACTIVITÉ</b>                   | Becquerel (Bq)    | 1 Bq = 27 picocuries           | Grandeur 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<br>= 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<br>= 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<br>= 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 ( $\beta$ )

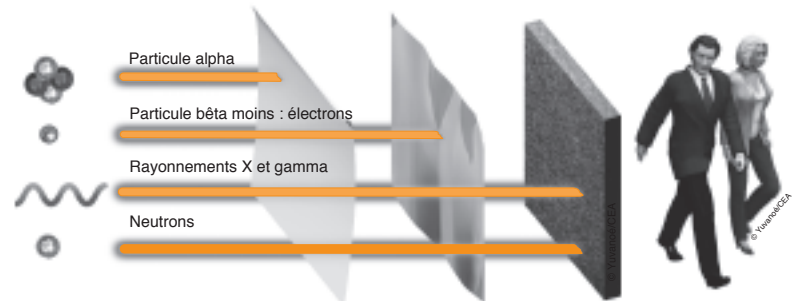
Pénétration faible. Ils parcourent quelques mètres dans l'air. Une feuille d'aluminium de quelques millimètres peut arrêter les électrons.

### 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.



## Expositions aux rayonnements ionisants (hors activités professionnelles)

Ionizing radiation exposure (other than occupational)

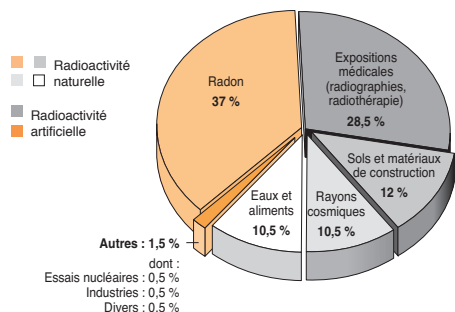
| Radioactivité  | Origine   | Provenance   | Type de rayonnement prédominant         | Dose <sup>(1)</sup> exprimée en mSv/an |
|--|---|--|---|--|
| <b>naturelle</b><br>(de l'ordre de 3 millisieverts par an et par habitant en France) | Cosmique  | Soleil, étoiles, galaxies                          | $\gamma$ , neutrons, particules lourdes | <b>0,4</b><br>(niveau de la mer)       |
|  | Tellurique (uranium 238, potassium 40, thorium 232)                   | sol  | $\gamma$                                | <b>0,5</b>                             |
|  | Interne potassium 40, plomb, bismuth, polonium, radons et descendants | ingestion aliments, eau inhalation, air            | $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$           | <b>1,5</b>                             |
| <b>artificielle</b>  | Médecine  | radiodiagnostic, radiothérapie imagerie nucléaire, | X, $\beta$ , $\gamma$                   | <b>1</b>                               |
|  | Industrie   | effluents et irradiation directe                   |   | <b>0,02</b>                            |
|  | Essais nucléaires   |  |   | <b>0,01</b>                            |
|  | Domestique, divers  | récepteurs TV, cadrans lumineux                    |   | <b>0,001</b>                           |

(1) Ces valeurs sont des ordres de grandeur pouvant varier considérablement d'un cas à l'autre.

Source : OCDE-AEN et CEA

## Répartition des différentes expositions aux rayonnements de la population française

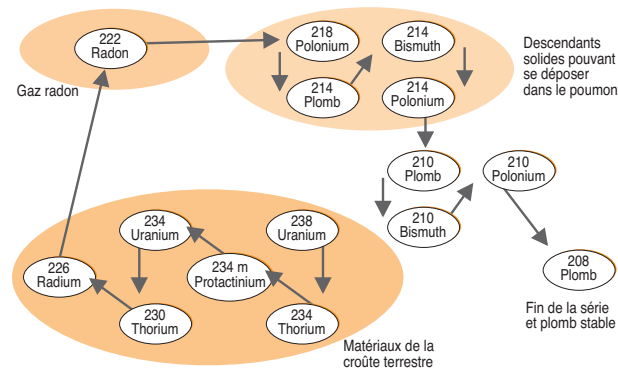
Different sorts of exposure for the French population



Source : D'après le Conseil scientifique des Nations Unies - 1988

## Le radon

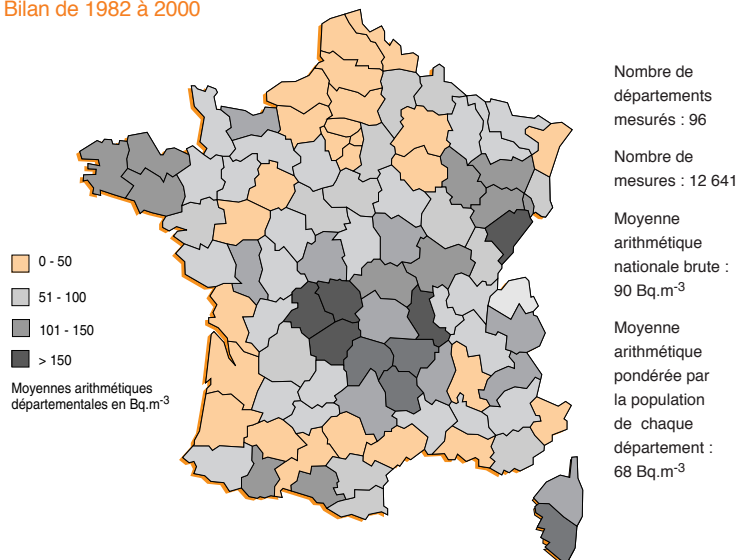
Le radon est un gaz radioactif qui provient de la désintégration de l'uranium et du radium présents dans la croûte terrestre. Sa désintégration donne naissance à des éléments eux-mêmes radioactifs puis à du plomb. Le radon fait partie des gaz rares comme le néon, le krypton et le xénon.



Source : CEA/IRSN

## Carte des activités volumiques du radon dans les habitations, en France

Bilan de 1982 à 2000



Source : IRSN, Bilan du 1<sup>er</sup> janvier 2000

## 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 <sup>(a)</sup>     |
| <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 <sup>(b)</sup>     |
| <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 <sup>(c)</sup>      |
| <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 <sup>(d)</sup>     |
| <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 utilisé en sortie de réacteur (1/4 de cœur déchargé) | 10 <sup>19</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'**AEEN**, 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.

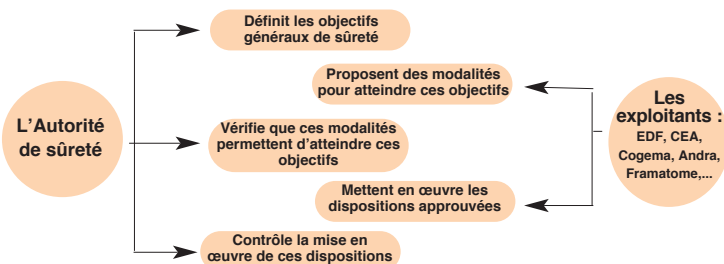
### L'Autorité de sûreté

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 : D SIN

### 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>Événements hors échelle</b> | Aucune pertinence du point de vue de la sûreté  |  |   |

Source : ASN

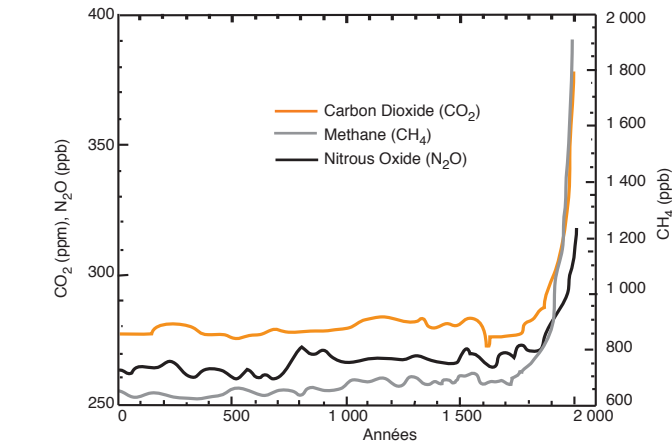
ENVIRONNEMENT

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)



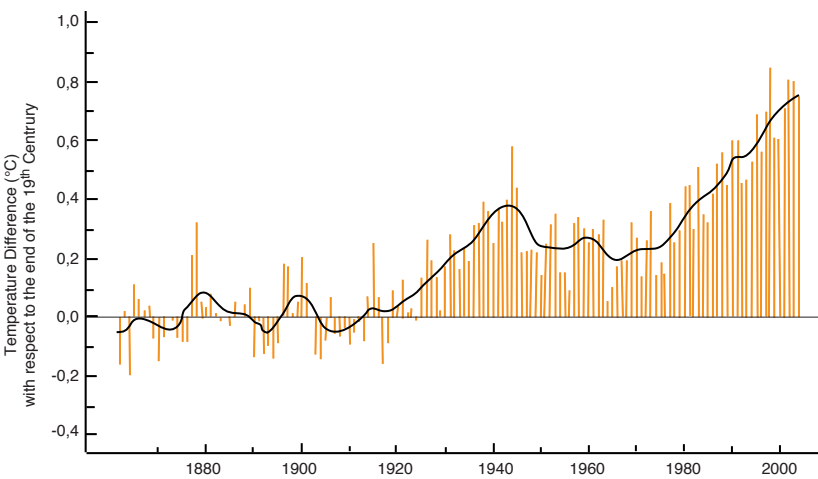
ppm = partie par million  
ppb = partie par milliard (billion en anglais)

| Gaz              | Pouvoir global de réchauffement relatif / CO <sub>2</sub><br>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><sup>26</sup><sub>equiv</sub> de l'augmentation de la température globale moyenne d'équilibre à la surface terrestre par rapport au niveau pré-industriel (°C)

Estimations according to CO<sub>2</sub><sup>26</sup><sub>equiv</sub> equilibrium of the global average Earth's surface temperature increasing compared to pre-industrial level (°C)

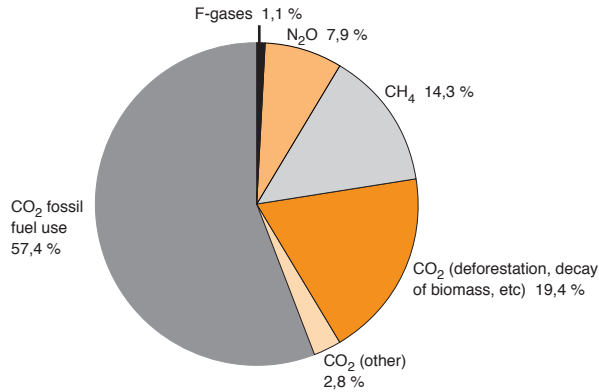
| Equilibre CO <sub>2</sub> -eq (ppm) | Meilleure estimation | Très probablement* au dessus | Probablement** dans la plage |
|-------------------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------|
| 350                                 | 1,0                  | 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



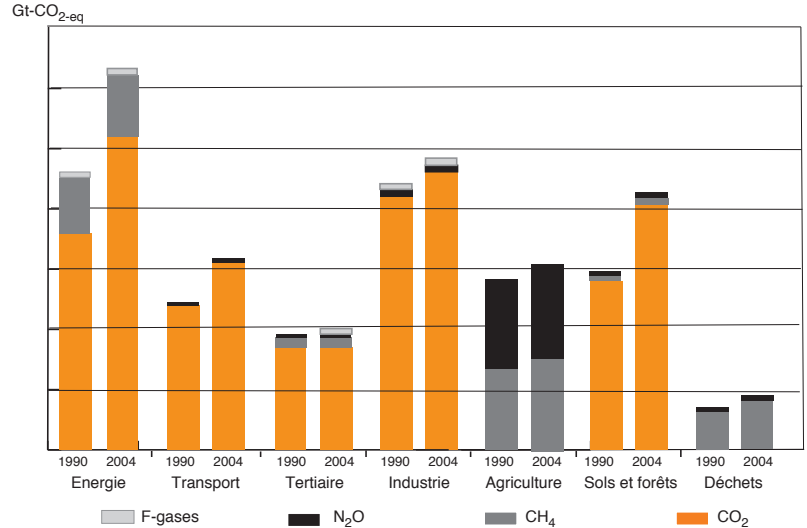
Répartition des émissions mondiales de gaz à effet de serre d'origine anthropogénique en 2004 (GIEC 2007)

World anthropogenic greenhouse gases emissions in 2004 (IPCC 2007)



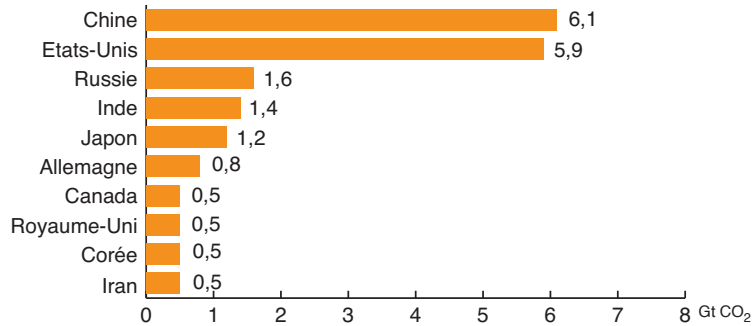
Emissions de gaz à effet de serre par secteur en 1990 et 2004 (GIEC 2007)

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



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 types de la production électrique (Valeurs pour les kWh d'EDF\*)

| Filières                 | Emissions**<br>(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 EcoInvent centre 2004

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

## Principaux évènements 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

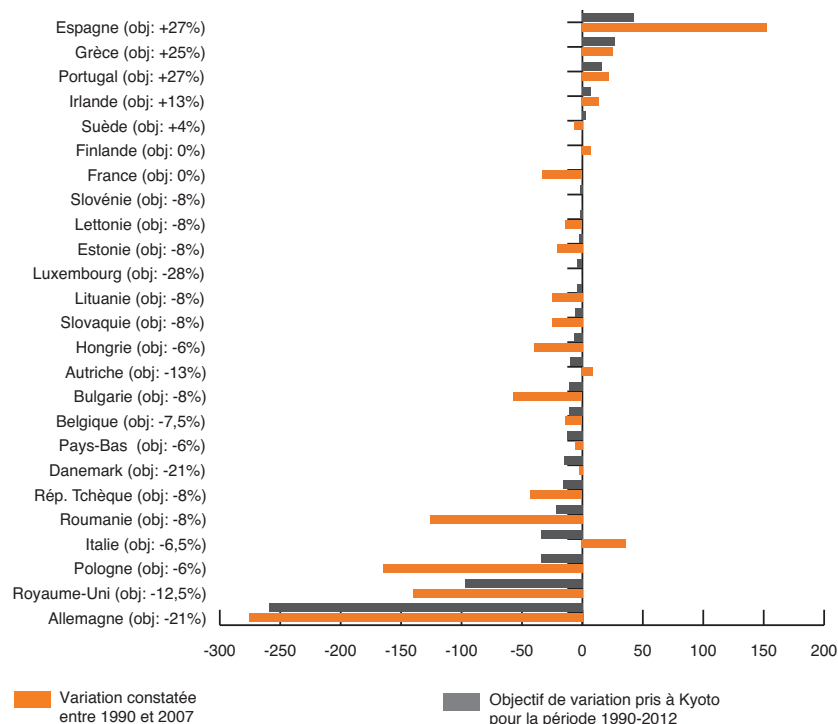
-1990 de l'ensemble des pays figurant dans « l'annexe B ». Aujourd'hui, après la ratification récente de l'Australie au protocole de Kyoto, les Etats-Unis restent le seul pays développé de l'Annexe B à ne pas l'avoir ratifié.

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

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

| Pays<br>Country                                  | Emissions<br>1990<br>(Mt CO <sub>2</sub> éq)<br><br>1990<br>emissions | Objectif 2008-2012<br>par rapport<br>à l'année<br>de référence (%)<br><br>2008-2012 target<br>compared to<br>reference year | Emissions<br>maximales<br>en 2012<br>(Mt CO <sub>2</sub> équivalent)<br><br>2012 maximum<br>emissions | Emissions<br>2007<br><br>2007<br>emissions | Situation<br>2007 par<br>rapport à<br>l'année de<br>référence (%)<br><br>Situation 2007<br>compared to<br>reference<br>year |
|--|---|---|---|--|---|
| Pologne *<br>Poland *                            | 563   | -6  | 530   | 398,9                                      | -29,2   |
| Rép. Tchèque<br>Czech Republic                   | 194   | -8  | 179   | 150,8                                      | -22,3   |
| Roumanie *<br>Romania *                          | 278   | -8  | 256   | 152,3                                      | -45,3   |
| Slovaquie<br>Slovak Republic                     | 72  | -8  | 66  | 47   | -34,8   |
| Slovénie *<br>Slovenia *                         | 20  | -8  | 19  | 20,7                                       | 1,5   |
| Union<br>européenne 27 **<br>European Union 27** | 5 572   | pas d'objectif<br>no objective  | pas d'objectif<br>no objective  | 5 045                                      | -9  |
| Croatie<br>Croatia                               | 36  | -5  | 34  | 32   | -10   |
| Islande<br>Iceland                               | 3   | 10  | 4   | 5  | 32  |
| Liechtenstein                                    | 0   | -8  | 0   | 0  | 0   |
| Norvège<br>Norway                                | 50  | 1   | 50  | 55   | 11  |
| Suisse<br>Switzerland                            | 53  | -8  | 49  | 51   | -3  |
| Turquie<br>Turkey                                | 170   | pas d'objectif<br>no objective  | pas d'objectif<br>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), Slovaquie (1986).

Some transition countries use different years of reference than 1990: Bulgaria (1988), Hungary (1985-1987), Poland (1988), Romania (1989), Slovakia (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><br>Mt of CO <sub>2</sub>                               | 1971   | 1980   | 1990   | 2000   | 2007   | %/an<br>1971<br>2007<br>%/year | %/an<br>1990-<br>2007<br>%/year | %<br>1990-<br>2007<br>% |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Amérique du Nord OCDE <sup>(1)</sup><br>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<br>of which USA   | 4 275  | 4 763  | 4 854  | 5 715  | 5 854  | 0,9                            | 1,1                             | 20,6                    |
| Amérique latine<br>Latin America  | 373    | 578    | 632    | 879    | 1 024  | 2,8                            | 2,9                             | 61,9                    |
| dont Brésil<br>of which Brazil  | 94     | 190    | 204    | 313    | 350    | 3,7                            | 3,2                             | 72,0                    |
| Europe OCDE <sup>(2)</sup><br>OECD Europe <sup>(2)</sup>                  | 3 728  | 4 218  | 3 989  | 3 970  | 4 101  | 0,3                            | 0,2                             | 2,8                     |
| Union européenne 27<br>European Union 27                                  | -      | -      | 4 135  | 3 874  | 3 971  | -                              | -0,2                            | -4,0                    |
| dont France<br>of which France  | 435    | 473    | 367    | 360    | 369    | -0,5                           | 0,0                             | 0,5                     |
| Europe non-OCDE <sup>(3)</sup><br>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<br>of which China  | 877    | 1 504  | 2 403  | 3 093  | 6 083  | 5,5                            | 5,6                             | 153,2                   |
| dont Inde<br>of which India   | 198    | 293    | 598    | 978    | 1 370  | 5,5                            | 5,0                             | 129,1                   |
| Pacifique OCDE <sup>(5)</sup><br>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<br>of which OECD  | 9 423  | 10 920 | 11 153 | 12 568 | 13 093 | 0,9                            | 0,9                             | 17,4                    |
| dont soutes maritimes<br>of which marine bunkers                          | 345    | 344    | 357    | 466    | 610    | 1,6                            | 3,2                             | 71,0                    |
| dont soutes aéronautiques<br>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, 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<br>t CO <sub>2</sub> / capita                | 1971 | 1980 | 1990 | 2000 | 2007 |
|---|------|------|------|------|------|
| Amérique du Nord OCDE <sup>(1)</sup><br>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><br>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<br>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<br>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<br>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, Kirgyzstan, Lettonie, Lituanie, Moldavie, Russie, Tadjikistan, Turkmenistan, 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<br>kg CO <sub>2</sub> /US\$ using 2000 prices and PPP | 1971       | 1980       | 1990       | 2000       | 2007       |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| Allemagne <i>Germany</i>   | 0,9        | 0,8        | 0,6        | 0,4        | 0,3        |
| Autriche <i>Austria</i>  | 0,5        | 0,4        | 0,3        | 0,3        | 0,3        |
| Belgique <i>Belgium</i>  | 0,8        | 0,7        | 0,5        | 0,4        | 0,3        |
| Bulgarie <i>Bulgaria</i>   | 2,5        | 1,8        | 1,3        | 0,9        | 0,7        |
| Chypre <i>Cyprus</i>   | 0,6        | 0,5        | 0,4        | 0,5        | 0,4        |
| Danemark <i>Denmark</i>  | 0,7        | 0,7        | 0,4        | 0,3        | 0,3        |
| Espagne <i>Spain</i>   | 0,3        | 0,4        | 0,3        | 0,3        | 0,3        |
| Estonie <i>Estonia</i>   | -          | -          | 2,7        | 1,1        | 0,8        |
| Finlande <i>Finland</i>  | 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 <i>Greece</i>  | 0,3        | 0,3        | 0,4        | 0,4        | 0,4        |
| Hongrie <i>Hungary</i>   | 0,9        | 0,8        | 0,6        | 0,4        | 0,3        |
| Irlande <i>Ireland</i>   | 0,9        | 0,7        | 0,6        | 0,4        | 0,3        |
| Italie <i>Italy</i>  | 0,4        | 0,4        | 0,3        | 0,3        | 0,3        |
| Lettonie <i>Latvia</i>   | -          | -          | 0,7        | 0,4        | 0,2        |
| Lituanie <i>Lithuania</i>  | -          | -          | 0,8        | 0,4        | 0,3        |
| Luxembourg   | 2,2        | 1,4        | 0,7        | 0,3        | 0,3        |
| Malte <i>Malta</i>   | 0,6        | 0,3        | 0,5        | 0,3        | 0,4        |
| Pays-Bas <i>Netherlands</i>  | 0,6        | 0,6        | 0,5        | 0,4        | 0,3        |
| Pologne <i>Poland</i>  | 1,4        | 1,5        | 1,2        | 0,7        | 0,6        |
| Portugal   | 0,2        | 0,3        | 0,3        | 0,3        | 0,3        |
| Rép. Tchèque <i>Czech Republic</i>   | 1,5        | 1,3        | 1,0        | 0,8        | 0,6        |
| Rép. Slovaque <i>Slovak Republic</i>   | 1,1        | 1,2        | 1,0        | 0,6        | 0,4        |
| Roumanie <i>Romania</i>  | 1,7        | 1,2        | 1,1        | 0,7        | 0,5        |
| Royaume-Uni <i>UK</i>  | 0,8        | 0,6        | 0,5        | 0,3        | 0,3        |
| Slovénie <i>Slovenia</i>   | -          | -          | 0,5        | 0,4        | 0,3        |
| Suède <i>Sweden</i>  | 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 <i>United States</i>  | 1,1        | 0,9        | 0,7        | 0,6        | 0,5        |
| Japon <i>Japan</i>   | 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 <i>Germany</i>             | 840        | 696        | 553        | 522        | 494        | 405        | 427        |
| Autriche <i>Austria</i>              | 359        | 236        | 245        | 214        | 180        | 223        | 202        |
| Belgique <i>Belgium</i>              | 863        | 572        | 344        | 357        | 284        | 271        | 253        |
| Bulgarie <i>Bulgaria</i>             | 709        | 632        | -          | 429        | 431        | 447        | 515        |
| Chypre <i>Cyprus</i>                 | -          | -          | -          | 822        | 838        | 788        | 761        |
| Danemark <i>Denmark</i>              | 794        | 690        | 476        | 430        | 339        | 283        | 317        |
| Espagne <i>Spain</i>                 | 373        | 635        | 427        | 453        | 430        | 397        | 390        |
| Estonie <i>Estonia</i>               | -          | -          | -          | 680        | 691        | 671        | 688        |
| Finlande <i>Finland</i>              | 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 <i>Greece</i>                  | 674        | 806        | 990        | 871        | 813        | 776        | 749        |
| Hongrie <i>Hungary</i>               | 728        | 696        | 420        | 432        | 401        | 341        | 345        |
| Irlande <i>Ireland</i>               | 1 088      | 710        | 740        | 727        | 642        | 582        | 504        |
| Italie <i>Italy</i>                  | 463        | 533        | 575        | 545        | 498        | 413        | 388        |
| Lettonie <i>Latvia</i>               | -          | -          | -          | 238        | 200        | 162        | 164        |
| Lituanie <i>Lithuania</i>            | -          | -          | -          | 174        | 160        | 136        | 117        |
| Luxembourg                           | 2 402      | 1 853      | 2 588      | 1 340      | 255        | 328        | 328        |
| Malte <i>Malta</i>                   | -          | -          | -          | 957        | 819        | 917        | 923        |
| Pays-Bas <i>Netherlands</i>          | 648        | 614        | 588        | 530        | 447        | 387        | 405        |
| Pologne <i>Poland</i>                | 560        | 631        | 641        | 671        | 671        | 657        | 668        |
| Portugal                             | 276        | 443        | 516        | 569        | 479        | 501        | 383        |
| Rép. Tchèque <i>Czech Republic</i>   | 896        | 747        | 597        | 602        | 596        | 525        | 558        |
| Rép. Slovaque <i>Slovak Republic</i> | 473        | 427        | 376        | 375        | 267        | 229        | 229        |
| Roumanie <i>Romania</i>              | 505        | 414        | -          | 440        | 396        | 400        | 438        |
| Royaume-Uni <i>UK</i>                | 912        | 798        | 672        | 529        | 461        | 484        | 500        |
| Slovénie <i>Slovenia</i>             | -          | -          | -          | 362        | 330        | 345        | 372        |
| Suède <i>Sweden</i>                  | 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 <i>United States</i>      | 765        | 708        | -          | 579        | 586        | 570        | 549        |
| Japon <i>Japan</i>                   | 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.

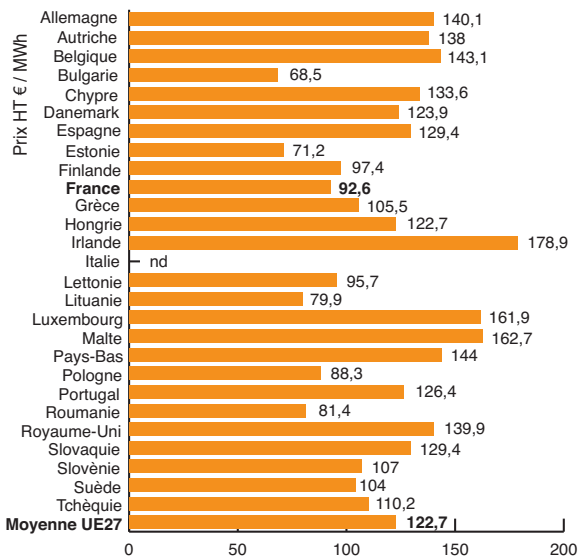
Source : CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel combustion, AIE éd 2009

## DONNÉES ÉCONOMIQUES

| Prix HT € / MWh<br>au 1 <sup>er</sup> janvier 2009 |              |
|--|--------------|
| Allemagne  | 140,1        |
| Autriche   | 138          |
| Belgique   | 143,1        |
| Bulgarie   | 68,5         |
| Chypre   | 133,6        |
| Danemark   | 123,9        |
| Espagne  | 129,4        |
| Estonie  | 71,2         |
| Finlande   | 97,4         |
| <b>France</b>                                      | <b>92,6</b>  |
| Grèce  | 105,5        |
| Hongrie  | 122,7        |
| Irlande  | 178,9        |
| Italie   | nd           |
| Lettonie   | 95,7         |
| Lituanie   | 79,9         |
| Luxembourg   | 161,9        |
| Malte  | 162,7        |
| Pays-Bas   | 144          |
| Pologne  | 88,3         |
| Portugal   | 126,4        |
| Roumanie   | 81,4         |
| Royaume-Uni  | 139,9        |
| Slovaquie  | 129,4        |
| Slovénie   | 107          |
| Suède  | 104          |
| Tchéquie   | 110,2        |
| <b>Moyenne UE 27</b>                               | <b>122,7</b> |

Source : Eurostat

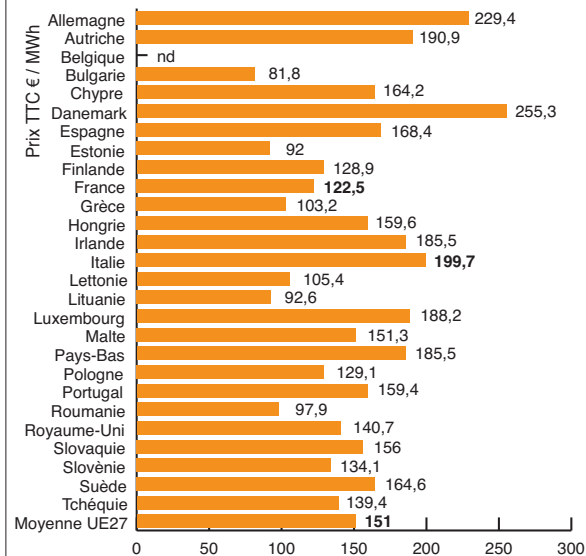
Prix HT de l'électricité à usage domestique  
au 1<sup>er</sup> janvier 2009



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

Source : Eurostat

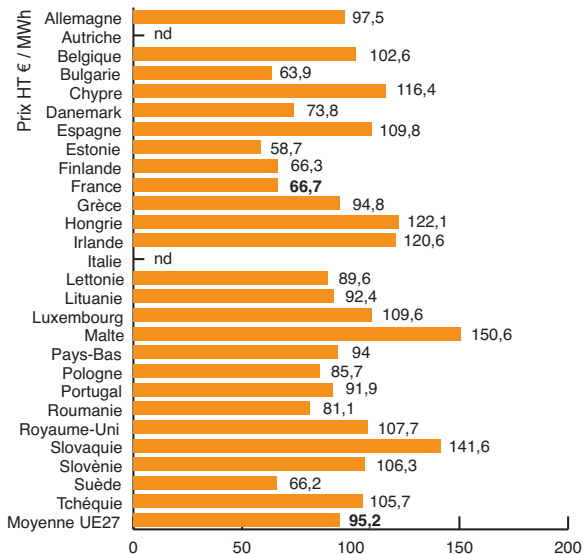
Prix TTC de l'électricité à usage domestique  
au 1<sup>er</sup> janvier 2009



| Prix HT € / MWh<br>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> |

Source : Eurostat

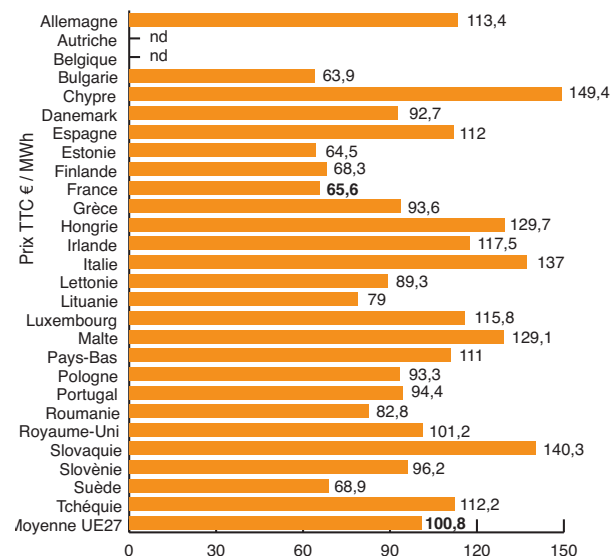
Prix HT de l'électricité à usage industriel  
au 1<sup>er</sup> janvier 2009



| Prix TTC € / MWh<br>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        |
| Italie  | 137          |
| Lettonie  | 89,3         |
| Lituanie  | 79           |
| Luxembourg  | 115,8        |
| Malte   | 129,1        |
| Pays-Bas  | 111          |
| Pologne   | 93,3         |
| Portugal  | 94,4         |
| 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> |

Source : Eurostat

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





## Exemples de prix moyens des énergies en France

### Exemples of average prices of energies in France

| Prix en monnaie courante<br>Price in legal currency  | 1990  | 1995  | 2000  | 2005  | 2007  |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Exemples de prix de l'électricité</b><br><i>Examples of Electricity prices</i>  |       |       |       |       |       |
| <b>Domestique Residential</b><br>Prix de 100 kWh, en € TTC, simple tarif,<br>selon la puissance souscrite :<br><i>Price of 100 kWh in € including taxes, simple tariff<br/>depending on the subscribed power</i>                   |       |       |       |       |       |
| 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><br>Prix de 100 kWh, en € HTVA, tarif bleu, selon période<br><i>Price of 100 kWh in € excluding taxes, blue tariff,<br/>depending on time period</i>   |       |       |       |       |       |
| 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><br>(Proche banlieue parisienne hors Paris)<br><i>Examples of gas prices (Paris suburbs area excluding Paris)</i>  |       |       |       |       |       |
| <b>Domestique Residential</b><br>Prix de 100 kWh PCS <sup>(1)</sup> , en € TTC, simple tarif<br><i>Price of 100 kWh GCV <sup>(1)</sup> in € including taxes, simple tariff</i>   |       |       |       |       |       |
| Tarif de base basic price  | 5,29  | 4,97  | 5,15  | 6,36  | 7,2   |
| <b>Industriel Industrial</b><br>Prix de 100 kWh PCS <sup>(1)</sup> , en € HTVA, tarif B2S,<br>selon la saison<br><i>Price of 100 kWh GCV <sup>(1)</sup> in € excluding taxes,<br/>B2S tariff depending on season</i>               |       |       |       |       |       |
| Hiver Winter   | 1,98  | 2,02  | 2,11  | 2,74  | 3,44  |
| Eté Summer   | 1,52  | 1,56  | 1,64  | 2,21  | 2,9   |
| <b>Exemples de prix du fioul (moyenne France entière)</b><br><i>Examples of fuel oil prices (France average)</i>   |       |       |       |       |       |
| <b>Domestique Residential</b><br>Prix de 100 kWh PCI, en € TTC,<br>pour une livraison de 2 000 à 5 000 litres <sup>(2)</sup><br><i>Price of 100 kWh NCV in € including taxes,<br/>for a 2,000- 5,000 l delivery <sup>(2)</sup></i> |       |       |       |       |       |
| tarif "C1"   | 3,44  | 3,08  | 4,66  | 5,86  | 6,49  |
| <b>Industriel Industrial</b><br>Prix de 100 kWh PCI, en € HTVA, selon la teneur<br>en soufre <sup>(3)</sup><br><i>Price of 100 kWh NCV in € excluding taxes, depending<br/>on percentage of sulphur <sup>(3)</sup></i>             |       |       |       |       |       |
| 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><br><i>Examples of coal prices (Paris area)</i>  |       |       |       |       |       |
| <b>Domestique Residential</b><br>Prix moyen de 100 kWh PCI, en € TTC, pour une<br>livraison de 1 à 2 t<br><i>Average price for 100 kWh NCV, in € including taxes,<br/>for a delivery from 1to 2 t</i>                              |       |       |       |       |       |
| Anthracite 30/50 (PCI: 8,44 kWh/kg)  | -     | -     | -     | 6,74  | 6,96  |
| Anthracite 30/50 (NCV: 8,44 kWh/kg)  |       |       |       |       |       |
| <b>Industriel Industrial</b><br>Prix moyen de 100 kWh PCI, en € HTVA<br><i>Average price for 100 kWh NCV, in € excluding taxes</i>   |       |       |       |       |       |
| Flambant gras A, grains 6/10 (PCI: 8,48 kWh/kg)  | 1,37  | 1,41  | 1,47  | nd    | nd    |
| Anthracite 0,6 (NCV: 8,48 kWh/kg)  |       |       |       |       |       |

(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: Uranium prices (Euratom average)

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

(2) Euros courants/kg U Current €/kg U

Source : rapport annuel Euratom 2009

France: CIF prices of imported energies

[illegible]

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

## TABLEAU DE MENDELEÏEV

| MÉTALLOÏDES HALOGENÈS MONOVALENTS 7B |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| MÉTALLOÏDES BIVALENTS 6B             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 5B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 3B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 2B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 1B            |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                                      |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

d'après Handbook of chemistry and physics, 74<sup>st</sup> Ed. 1993, CRC Press  
at Pure and Applied Chemistry, 1997, 69, 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                        |

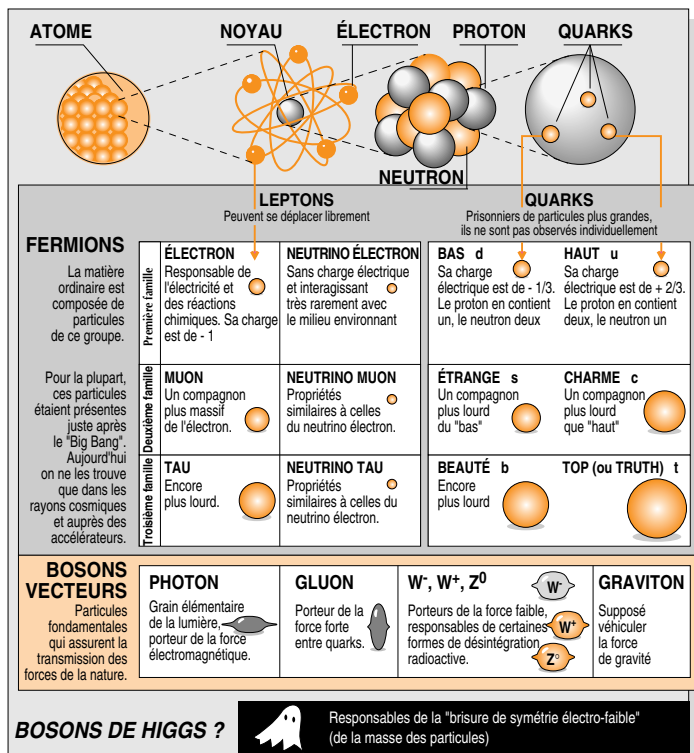
## Période, radioactivité et utilisation des principaux isotopes

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

| Z  | Élément | 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)  | SYMBÔLE   |
|---|---|---|
| longueur (L)                              | fermi<br>angström<br>micron<br><b>mètre</b><br>mille nautique<br>unité astronomique<br>année lumière<br>parsec                          | fm<br>Å<br>μ<br><b>m</b><br>1 852 m<br>1,496.10 <sup>11</sup> m<br>9,461.10 <sup>15</sup> m<br>3,0857.10 <sup>16</sup> m                          |
| masse (M)                                 | masse de l'électron<br>dalton ou unité<br>de masse atomique<br>carat métrique<br><b>kilogramme</b><br>quintal<br>tonne<br>masse solaire | 9,109558.10 <sup>-31</sup> kg<br><br><br>1,66.10 <sup>-27</sup> kg<br>2.10 <sup>-4</sup> kg<br><b>1 kg</b><br>q<br>t<br>1,991.10 <sup>30</sup> kg |
| temps (T)                                 | <b>seconde</b><br>jour solaire moyen<br>jour sidéral  | <b>1 s</b><br>86 400 s<br>86 164,1 s  |
| température (Θ)                           | <b>kelvin</b><br>degré Celsius<br>électronvolt  | <b>1 K</b><br>1 K<br>11 605 K   |
| quantité de matière                       | <b>mole</b>   | <b>1 mol</b><br><b>mol</b>  |
| surface (L <sup>2</sup> )                 | barn<br>are   | 10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup><br>100 m <sup>2</sup><br>b<br>a  |
| volume capacité (L <sup>3</sup> )         | litre<br>stère<br>baril de pétrole  | 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup><br>1 m <sup>3</sup><br>0,15898 m <sup>3</sup><br>l<br>st  |
| fréquence (T <sup>-1</sup> )              | hertz   | 1 s <sup>-1</sup><br>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<br>newton<br>kilogramme-force  | 10 <sup>-5</sup> N<br>1 N<br>9,81 N<br>dyn<br>N<br>kgf  |

|                                      |                       |  |                     |
|--------------------------------------|-----------------------|--|---------------------|
| énergie, travail                     | électronvolt          | $1,602 \cdot 10^{-19}$ J                 | eV                  |
| quantité de chaleur                  | erg                   | $10^{-7}$ J                              |                     |
| ( $ML^2T^{-2}$ )                     | joule                 | 1 J                                      | J                   |
|                                      | calorie               | 4,184 J                                  | cal                 |
|                                      | wattheure             | 3 600 J                                  | Wh                  |
|                                      | thermie               | $4,184 \cdot 10^6$ J                     | th                  |
| puissance ( $ML^2T^{-3}$ )           | watt                  | 1 W                                      | W                   |
|                                      | cheval-vapeur         | 735,5 W                                  | ch                  |
| pression ( $ML^{-1}T^{-2}$ )         | barye                 | $10^{-1}$ Pa                             |                     |
|                                      | pascal                | 1 Pa                                     | Pa                  |
|                                      | torr                  | 133,332 Pa                               |                     |
|                                      | pièze                 | $10^3$ Pa                                | pz                  |
|                                      | centimètre de mercure | 1 333,32 Pa                              | cmHg                |
|                                      | kilogramme-force      |  |                     |
|                                      | par centimètre carré  | $9,8 \cdot 10^4$ Pa                      | kgf/cm <sup>2</sup> |
|                                      | bar                   | $10^5$ Pa                                |                     |
|                                      | atmosphère            | 101 325 Pa                               |                     |
| viscosité dynamique                  | poise                 | 0,1 PI                                   | Po                  |
| ( $ML^{-1}T^{-1}$ )                  | poiseuille            | 1 PI                                     | PI                  |
| viscosité cinématique                | stokes                | $10^{-4}$ m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> | Sk                  |
| ( $L^2T^{-1}$ )                      |                       |  |                     |
| intensité électrique (I)             | <b>ampère</b>         | <b>1 A</b>                               | <b>A</b>            |
| quantité d'électricité               | franklin              | $3,33564 \cdot 10^{-10}$ C               | Fr                  |
| charge électrique (IT)               | coulomb               | 1 C                                      | C                   |
|                                      | faraday               | 96 494 C                                 |                     |
| potentiel ( $ML^2T^{-3}I^{-1}$ )     | volt                  | 1 V                                      | V                   |
| résistance ( $ML^2T^{-3}I^{-2}$ )    | ohm                   | 1 $\Omega$                               | $\Omega$            |
| capacité ( $M^{-1}L^{-2}T^4I^2$ )    | centimètre            | $1,112 \cdot 10^{-2}$ F                  |                     |
|                                      | farad                 | 1 F                                      | F                   |
| conductance ( $M^{-1}L^{-2}T^3I^2$ ) | siemens               | 1 S                                      | S                   |
| inductance ( $ML^2T^{-2}I^{-2}$ )    | centimètre            | $10^{-9}$ H                              | cm                  |
|                                      | henry                 | 1 H                                      | H                   |

|                                   |                |  |           |
|-----------------------------------|----------------|--|-----------|
| induction magnétique              | gauss          | $10^{-4}$ T                                    | Gs, G     |
| ( $MT^{-2}I^{-1}$ )               | tesla          | 1 T  | T         |
| flux d'induction                  | maxwell        | $10^{-8}$ Wb                                   | Mx        |
| magnétique ( $ML^2T^{-2}I^{-1}$ ) | weber          | 1 Wb   | Wb        |
| moment magnétique                 | debye          | $3,355 \cdot 10^{-30}$ Cm                      | D         |
| ( $ML^3T^{-2}I^{-1}$ )            |                |  |           |
| intensité lumineuse ( $I_e$ )     | <b>candela</b> | <b>1 cd</b>                                    | <b>cd</b> |
| luminance ( $L^{-2}I_e$ )         | nit            | 1 nit  | nit       |
|                                   | stilb          | $10^4$ nit                                     | sb        |
| éclairage ( $L^{-2}I_e$ )         | lux            | 1 lx   | lx        |
|                                   | phot           | $10^4$ lx                                      | ph        |
| flux lumineux ( $I_e$ )           | lumen          | 0,00147 W (à 5 550 Å)                          | lm        |
| vergence ( $L^{-1}$ )             | dioptrie       | $1 m^{-1}$                                     | δ         |
| radioactivité (activité)          | becquerel      | 1 Bq   | Bq        |
|                                   | curie          | $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq                         | Ci        |
|                                   |                | (désintégrations par seconde)                  |           |
| radioactivité (dose)              | röntgen        | $2,58 \cdot 10^{-4}$ C/kg                      | R         |
|                                   | rad            | $10^{-2}$ Gy                                   | rad       |
|                                   | gray           | 1 Gy   | Gy        |
| information                       | bit            | unité élémentaire de<br>quantité d'information |           |
| débit d'information               | baud           | 1 bit par seconde                              |           |
| atténuation                       | bel            |  | B         |
|                                   | neper          |  | Np        |
| angle plan arc                    | seconde        | $4,845 \cdot 10^{-6}$ rad                      | "         |
|                                   | minute         | $2,9 \cdot 10^{-4}$ rad                        | '         |
|                                   | grade          | 0,0157079 rad                                  | gr, G     |
|                                   | degré          | 0,0174533 rad                                  | °         |
|                                   | radian         | 1 rad  | rad       |
| angle solide                      | stéradian      | 1 sr   | sr        |
|                                   | spat           | $4\pi$ 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   | $c$           | 299 792 458                                 | ms <sup>-1</sup>  | (par définition)           |
| perméabilité du vide                 | $\mu_0$       | $4\pi \cdot 10^{-7}$<br>= 12,566 370 614... | NA <sup>-2</sup>  | (calculé)                  |
| permittivité du vide                 | $\epsilon_0$  | $1/\mu_0 c^2$<br>= 8,854 187 817...         | 10 <sup>-12</sup> Fm <sup>-1</sup>                                | (calculé)                  |
| constante de gravitation             | $G$           | 6,672 59 (85)                               | 10 <sup>-11</sup> m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> | 128                        |
| constante de Planck                  | $h$           | 6,626 075 5 (40)                            | 10 <sup>-34</sup> Js  | 0,60                       |
| $h/2\pi$                             | $\hbar$       | 1,054 572 66 (63)                           | 10 <sup>-34</sup> Js  | 0,60                       |
| charge élémentaire                   | $e$           | 1,602 177 33 (49)                           | 10 <sup>-19</sup> C   | 0,30                       |
| flux magnétique, $h/2e$              | $\Phi_0$      | 2,067 834 61 (61)                           | 10 <sup>-15</sup> Wb  | 0,30                       |
| masse de l'électron                  | $m_e$         | 9,109 389 7 (54)                            | 10 <sup>-31</sup> kg  | 0,59                       |
| masse du proton                      | $m_p$         | 1,672 623 1 (10)                            | 10 <sup>-27</sup> kg  | 0,59                       |
| quotient des masses                  |               |   |   |                            |
| proton-électron                      | $m_p/m_e$     | 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                 | $R_{\infty}$  | 10 973 731,534 (13)                         | m <sup>-1</sup>   | 0,0012                     |
| nombre d'Avogadro                    | $N_A$ , $L$   | 6,022 136 7 (36)                            | 10 <sup>23</sup> mol <sup>-1</sup>                                | 0,59                       |
| constante de Faraday, $N_A e$        | $F$           | 96 485,309 (29)                             | Cmol <sup>-1</sup>  | 0,30                       |
| constante des gaz parfaits           | $R$           | 8,314 510 (70)                              | Jmol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>                                | 8,4                        |
| Constante de Boltzmann, $R/N_A$      | $k$           | 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, $(e/C)J = \{e\}J$      | eV            | 1,602 177 33 (49)                           | 10 <sup>-19</sup> J   | 0,30                       |
| unité de masse atomique              | $u$           | 1,660 540 2 (10)                            | 10 <sup>-27</sup> kg  | 0,59                       |
| 1 $u = m_u = 1/12 m(^{12}\text{C})$  |               |   |   |                            |

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 4e 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 (supercalculateurs, 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.

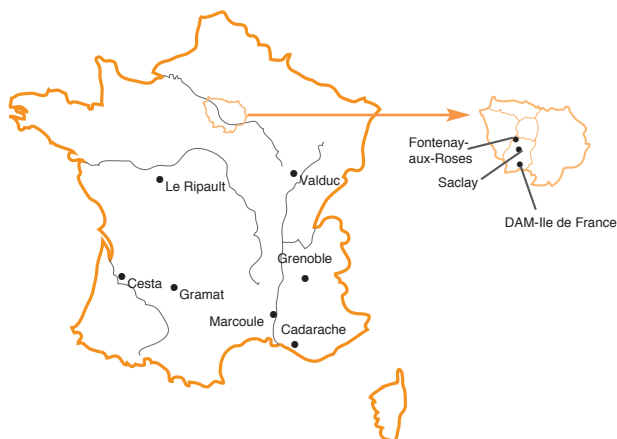
### Au service de la Défense nationale

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).

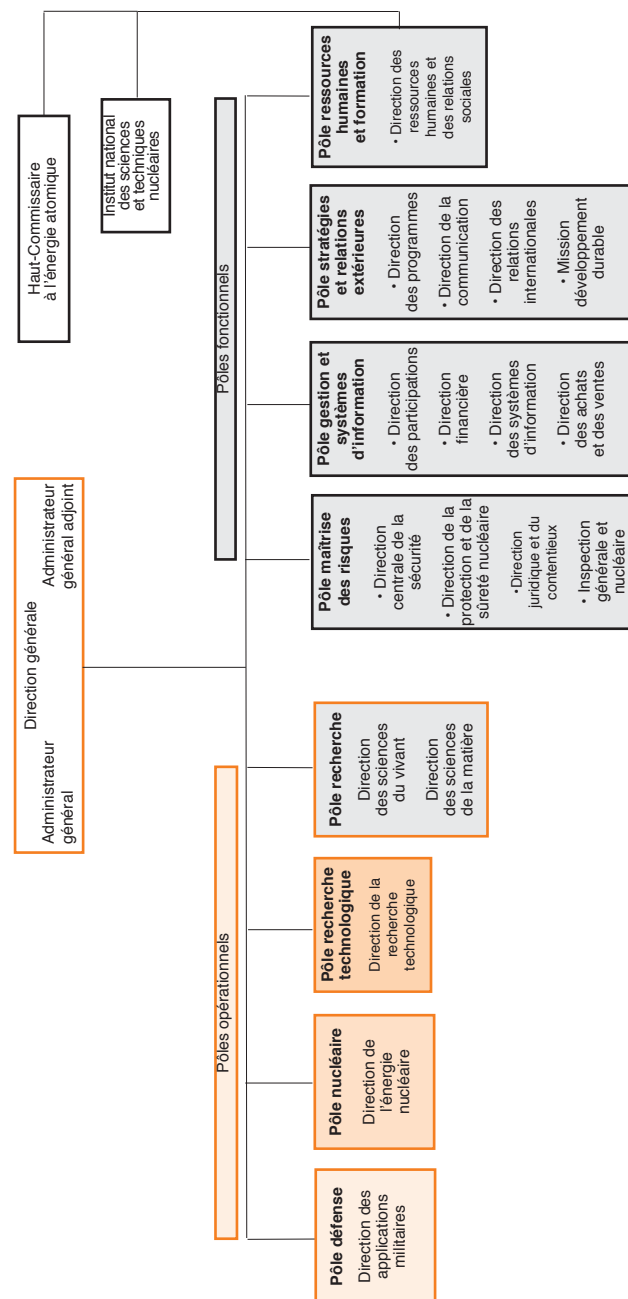
En matière de propulsion nucléaire (sous-marins, porte-avions), le CEA est notamment responsable de la conception et de la maintenance des réacteurs.

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)

- **IAEA** (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 Bourgoïn  
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](http://www.irsn.org)

• **Euratom**  
200, rue de la Loi  
B 1049 Bruxelles  
Belgique [32] (2) 299 11 11  
[europa.eu.int](http://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](http://www.areva.com)

• **AREVA NC**  
2 rue Paul Dautier - BP 4  
78141 Vélizy Villacoublay  
[www.areva-nc.fr](http://www.areva-nc.fr)

• **Electricité de France**  
22, avenue Wagram  
75008 Paris  
tél : 01 40 42 22 22  
[www.edf.fr](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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 Reuil-Malmaison Cedex - France  
[www.ifp.fr](http://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](http://www.senat.fr) (rubrique "travaux parlementaires")

### Les industriels

• **Charbonnage de France**  
100, avenue Albert 1er  
92503 Reuil Malmaison  
tél : 01 47 52 35 00  
[www.groupecharbonnages.fr](http://www.groupecharbonnages.fr)

• **Gaz de France**  
23 rue Philibert Delorme  
75840 Paris cedex 13  
[www.gazdefrance.com](http://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)