

# MÉMENTO SUR L'ÉNERGIE

*Energy handbook*

édition  
**2016**

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

**cea**  

---

# MÉMENTO SUR L'ÉNERGIE 2016

**L**a version 2016 du livret “ Mémento sur l'énergie ” que vous avez entre les mains contient un ensemble de notions et de données technico-économiques indispensables pour comprendre les problèmes inhérents à toute politique énergétique.

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

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

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

Si vous souhaitez télécharger les mises à jour en consultant le site web CEA et ne plus recevoir la version imprimée, merci de vous désabonner.

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

*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 des analyses stratégiques  
Bâtiment 524  
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 51 et 53 fois la production mondiale de 2015, comparativement à 114 fois pour le charbon (p. 11).

2 - Evolution des besoins en énergie primaire : croissance de 1,6 %/an en moyenne dans le monde ces dernières années (1990-2014) dont forte croissance au Moyen-Orient (4,5 %) et dans les pays en développement (ex : 3,7 % par an en Inde et 4,7 % en Chine) mais une stabilisation dans l'Union européenne sur la période (p. 18). Selon le scénario de référence développé par l'AIE (p. 19), la croissance se prolongerait mais à un rythme un peu moindre d'ici 2030.

3 - Part des énergies dans les besoins finaux en 2013 : domination toujours très forte des combustibles fossiles dans la consommation finale d'énergie (65 % dont 40 % pour le seul pétrole). Le gaz naturel et l'électricité à hauteur respectivement de 15 et 18 % devançant la biomasse (12 %) et le charbon (10 %) (p. 21). D'ici 2030, l'AIE retient dans son scénario 2015 une situation semblable, hormis pour l'électricité qui passerait à 22 % au détriment du pétrole, et de la biomasse (p. 21). Cette hausse de la part de l'électricité qui est déjà visible dans les pays industrialisés, (ex : France, où elle est passée de 9,9 à 24,9 % entre 1973 et 2015, p. 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 568 kWh/an pour toute l'Afrique, 3 938 kWh/ an en Chine et 12 961 kWh/an aux Etats-Unis (p. 17). 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 % par an dans le monde (p. 35) à comparer avec 1,4 % pour la demande finale totale d'énergie d'après l'AIE (p. 21).

5 - Part des énergies dans la production mondiale d'électricité (p. 33) : le charbon domine avec 41 % de la production ; il est suivi par le gaz naturel, l'hydraulique et le nucléaire avec respectivement 21,6 %, 16,4 % et 10,7 %. Dans l'Union européenne, le nucléaire devance désormais de peu le charbon (respectivement 27,7 % et 26,6 %), excepté en France où il est largement dominant (78 %). Le scénario 2014 de l'AIE retient à partir de 2020 (p. 35) un maintien de la part du nucléaire dans la production mondiale à 12 % 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 12-13-14 et 31). Ainsi, les capacités PV qui augmentent rapidement atteignent 227 GWcrête en 2015, il en est de même pour les capacités éoliennes qui atteignent 433 GWe. L'hydraulique a produit 16,4 % de l'électricité mondiale en 2014, les autres énergies renouvelables 6,3 % (p. 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 (65 % voir p. 69) suivi de loin par le méthane (16 %) et le CO<sub>2</sub> issu de la déforestation (11 %). La Chine est le premier pays émetteur de GES en 2013 (9,0 GtCO<sub>2</sub>), suivi par les Etats-Unis (5,1 GtCO<sub>2</sub>, voir p. 70). Depuis 1990, les émissions mondiales ont augmenté de plus de 56,13 % (p. 80).

8 - Prix des énergies : le prix de l'uranium en contrat à long terme (qui représente 98 % des contrats de l'UE) et sur le marché spot a légèrement diminué depuis 2013 (p. 83). En 2015, le prix moyen de l'électricité facturé pour les industries (resp. ménages) de taille moyenne dans l'Union Européenne était de 89,0 €/MWh (resp. 208,2), allant de 61,7 € pour la Suède (resp. 94,2 pour la Bulgarie) à 155,9 € pour Malte (resp. 306,8 pour le Danemark (p. 79-80).

## 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
Pouvoir calorifique moyen du bois (PCI)	8
Comparaison biocarburant - carburant d'origine pétrolière	8
Données de base sur l'hydrogène	8
<a href="#">Basic data about hydrogen</a>	
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 2015	11
<a href="#">World: proved reserves of fossil fuels per geographical area at end 2015</a>	
Monde : réserves d'uranium les plus importantes	12
<a href="#">World: most important uranium reserves</a>	
Evolution de la capacité installée mondiale d'origine renouvelable	12
<a href="#">Renewable installed world capacity evolution</a>	
Europe : capacité installée et production d'électricité d'origine éolienne et photovoltaïque dans les pays de l'UE	13
<a href="#">Europe: electricity production and installed capacity from wind and photovoltaic in the EU</a>	
Europe : puissance éolienne offshore installée dans les pays de l'UE	14
<a href="#">Europe: installed capacity for offshore wind power in the EU countries</a>	
Potentiel de biomasses en France	14
Description de la forêt en France	15
Usage du bois	15
Production mondiale de biocarburants (2014)	15
<b>CONSOMMATION</b>	
Scénario d'évolution de la population mondiale	15
<a href="#">Scenario of evolution of world population</a>	
Monde : données générales pour 2014	16
<a href="#">World: general data for 2014</a>	
Monde : approvisionnement total en énergie primaire	18
<a href="#">World: total primary energy supply</a>	
Monde : scénario de référence pour l'approvisionnement en énergie primaire	19
<a href="#">World: reference scenario for primary energy supply</a>	
Monde : consommation finale d'énergie en 2014	20
<a href="#">World: final consumption of energy for 2014</a>	
Monde : scénario de référence pour la consommation finale d'énergie	21
<a href="#">World: reference scenario for final consumption of energy</a>	
Europe : données générales pour 2014	22
<a href="#">Europe: general data for 2014</a>	
Europe : consommation de biocarburants destinés au transport dans l'UE en 2015	24
<a href="#">Europe: biofuel consumption for transport in the European Union in 2015</a>	
Consommation d'électricité par habitant	25
<a href="#">Electricity consumption per head</a>	
Consommation finale d'énergie par unité de PIB	25
<a href="#">Final energy consumption per GDP unit</a>	
France : consommation d'énergie primaire (corrigée du climat) par énergie	26
<a href="#">France: primary energy consumption (corrected for climate) by energy</a>	
France : consommation d'énergie finale (corrigée du climat) par énergie	26
<a href="#">France: final energy consumption (corrected for climate) by energy</a>	
France : consommation d'énergie finale (corrigée du climat) par secteur	27
<a href="#">France: final energy consumption (corrected for climate) by sector</a>	

France : deux scénarios retenus dans le cadre du DNTE (Débat national sur la transition énergétique)	27
France: two retained scenarios in the DNTE context (National debate on energetic transition)	
France : bilans électriques	28
France: electricity balances	
France : bilan de l'énergie en 2015	29
France: energy balance for 2015	
<b>PRODUCTION</b>	
Monde : capacités électriques installées en 2013	31
World: 2013 electricity installed capacities	
Production d'électricité d'origine nucléaire par pays fin 2015	32
Electricity generation from nuclear power plants by country at the end of 2015	
Monde : production d'électricité par source en 2014	33
World: electricity generation by fuel for 2014	
Monde : production d'électricité	34
World: electricity generation	
Monde : scénario de référence pour la production d'électricité	35
World: reference scenario for electricity generation	
Europe : évolution de la production électrique	36
Europe: evolution of electricity generation	
Europe : part de l'énergie produite à partir des sources renouvelables dans la consommation brute d'énergie finale en 2014 et objectifs 2020	37
Europe: share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy in 2014 and national overall targets in 2020	
France : production primaire d'énergies renouvelables	38
France: renewable energy production	
France : bilan électrique	38
France: electricity balance	
France : échanges contractuels transfrontaliers d'électricité en 2015	39
France: cross-border contractual electricity exchanges in 2015	
Puissances maximales appelées par le réseau en France	39
Peak load demand of the French network	
<b>ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ET ÉLECTRONUCLÉAIRE</b>	<b>41</b>
<b>ELECTRICITY AND NUCLEAR POWER</b>	
Principales caractéristiques des filières électronucléaires	42
Main characteristics of nuclear reactor types	
<b>GESTION DU COMBUSTIBLE</b>	
France : caractéristiques des REP 900, 1300, 1450 MWe	43
France: Characteristics of the 900, 1300 and 1450 MWe PWR's	
Parc électronucléaire français au 01/01/2016	44
Nuclear power plants in France - Status as of 2016/01/01	
France : évaluation des besoins en uranium et services du cycle du combustible REP	45
France: Uranium and fuel cycle services requirements	
Principales caractéristiques d'un réacteur à neutrons rapides	46
Le réacteur à neutrons rapides incinérateur d'actinides	46
The fast neutron reactor as an actinide incinerator	
<b>CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE</b>	
Gestion du combustible sur le parc REP d'EDF	47
Cycle simplifié du combustible nucléaire en France	48
Monde : besoins en uranium	49
World: Uranium requirements	
Définition de l'UTS	49
Monde : capacité nominale d'enrichissement de l'uranium	49
World: Uranium enrichment capacity	
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	49
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 procédés d'enrichissement isotopique de l'uranium	50
Fabrication de combustible : besoins et capacités de production dans l'OCDE	50
Fuel manufacture: requirements and capacities in OECD countries	

Usines de traitement des combustibles usés	
Used fuel reprocessing units	50
Les déchets produits en France	51
Classification des déchets	51
Waste classification	
La gestion des déchets radioactifs	53
Principaux éléments contenus dans les combustibles usés	54
Main elements comprised in used fuel	
Déchets ultimes issus du traitement du combustible d'un REP 1000 MWe	55
Ultimate waste from fuel reprocessing for a 1000 MWe PWR unit	
Effluents annuels dus au traitement du combustible d'un REP 1 000 MWe	55
Waste generated annually by reprocessing the fuel of a 1000 MWe PWR unit	
Effluents et déchets produits en 1996 par les centrales nucléaires en France	55
Total amount of waste generated by the French nuclear power plants in 1996	
Volumes de résidus générés dans UP3	56
Volume of waste generated in the UP3 reprocessing plant	
<b>INFORMATIONS GÉNÉRALES GENERALITIES</b>	<b>57</b>
<b>L'HOMME ET LES RAYONNEMENTS</b>	
Quelques définitions	58
Grandeurs et unités propres aux rayonnements ionisants	Physical units for ionizing radiation 59
Décroissance de la radioactivité d'un radioélément, vie moyenne, période	59
Radioactive decay, mean life, half life	
Périodes effectives de quelques corps radioactifs	Effective half life for some radioelements 60
Pouvoir de pénétration des rayonnements ionisants	Radiation ionizing stopping power 60
Expositions aux rayonnements ionisants en France (hors activités professionnelles)	61
Ionizing radiation exposure in France (other than occupational)	
Expositions aux rayonnements ionisants de la population en France	61
Le radon	62
Carte des activités volumiques du radon dans les habitations en France	62
Exposition moyenne mondiale aux sources naturelles d'irradiation	63
World average exposure from natural sources	
L'activité radioactive, exemples	Examples of natural or human generated activity 64
<b>RADIOPROTECTION ET SÛRETÉ NUCLÉAIRE</b>	
Institutions internationales	65
Loi sur la transparence et la sécurité en matière nucléaire	65
L'Autorité de sûreté	65
Principes du contrôle de la sûreté nucléaire en France	65
Classement des incidents : échelle INES	66
Structure fondamentale de l'échelle INES	66
<b>ENVIRONNEMENT</b>	
Qu'est-ce que l'effet de serre ?	67
Evolution des concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre au cours du temps (GIEC 2007)	67
History of Greenhouse gas atmospheric rate	
Anomalies de la température moyenne globale annuelle de l'air à la surface terrestre relatives au climat de la période 1961-1990 ; valeurs issues des dernières versions de 4 jeux de données différents (Berkeley, CRUTEM, GHCN et GISS)	68
Global annual average land-surface air temperature (LSAT) anomalies relative to a 1961-1990 climatology from the latest versions of four different data sets (Berkeley, CRUTEM, GHCN and GISS)	
Augmentation de la température globale moyenne d'équilibre à la surface terrestre par rapport au niveau pré-industriel	68
Global average Earth's surface temperature increasing compared to pre-industrial level	
Caractéristiques principales des RCP	68
Total annuel des émissions mondiales par groupe de gaz à effet de serre d'origine anthropogénique (1970-2010)	69
Total World annual anthropogenic GHG Emissions by Groups of Gases (1970-2010)	
Emissions de gaz à effet de serre par secteurs économiques	69
Greenhouse Gases Emission by economic sectors	
Les plus gros émetteurs de CO <sub>2</sub> en 2013	70
The biggest CO <sub>2</sub> emitters in 2013	
Emissions types de la production électrique	70
Principaux événements sur les changements climatiques	71

La Conférence de Kyoto	71
Situation des émissions de gaz à effet de serre des pays de l'UE28 vis-à-vis des engagements de Kyoto	72
Situation of Greenhouse gas emissions for European Union (28) countries towards Kyoto Protocol	
Monde : évolution des émissions de CO <sub>2</sub>	73
World: evolution of CO <sub>2</sub> emissions	
Monde : émissions de CO <sub>2</sub> par habitant provenant de combustibles fossiles	74
World: CO <sub>2</sub> emissions per capita from fossil fuels	
Monde : émissions de CO <sub>2</sub> par unité de PIB provenant de combustibles fossiles	75
World: CO <sub>2</sub> emissions per GDP unit from fossil fuels	
Principaux gaz à effet de serre	75
Main Greenhouse gases	
Union européenne : émissions de CO <sub>2</sub> par habitant provenant des combustibles fossiles	76
European Union: CO <sub>2</sub> emissions per capita from fossil fuels	
Europe : émissions de CO <sub>2</sub> par unité de PIB provenant des combustibles fossiles	77
Europe: CO <sub>2</sub> emissions per GDP unit from fossil fuels	
Europe : émissions de CO <sub>2</sub> par kWh pour le secteur de l'électricité	78
Europe: CO <sub>2</sub> emissions per kWh from electricity generation	
<b>DONNÉES ÉCONOMIQUES</b>	
Prix TTC de l'électricité pour les ménages de taille moyenne - Année 2015	79
Prix TTC de l'électricité pour les industries de taille moyenne - Année 2015	80
Exemples de prix moyens des énergies en France	81
Examples of average prices of energy in France	
Tarifs d'achat français de l'électricité produite par les énergies renouvelables et la cogénération	82
France : prix de l'uranium (moyenne zone Euratom)	83
France: Uranium prices (Euratom average)	
France : prix CAF des énergies importées	83
France: CIF prices of imported energies	
<b>GÉNÉRALITÉS</b>	
Tableau de Mendeleïev	84
Symboles, éléments et isotopes	85
Caractéristiques des particules élémentaires	86
Période, radioactivité et utilisation des principaux isotopes	87
Unités de mesure	88
Préfixes des multiples et sous-multiples décimaux des unités du Système international	91
Unités de mesure anglosaxonnes	91
Constantes physiques fondamentales	92
<b>LE CEA - PRÉSENTATION</b>	
Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives	94
Organigramme du CEA	96
Pour plus d'informations sur le CEA	97
Pour plus d'informations sur le nucléaire	98
Pour plus d'informations sur l'énergie	99
Publications périodiques du CEA	101

## **ENERGIE**

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

**RESOURCES, CONSUMPTION AND PRODUCTION**



## TABLEAUX DE CONVERSION

### Principales unités d'énergie

#### Main energy units

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

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

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

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

### Principales unités de puissance

#### Main power units

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

### Unités de volume métriques et anglo-saxonnes

#### Anglo-saxon and metric units conversion

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

## Unités usuelles pour l'uranium

### Common units for uranium

	kg U	lb U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Short Ton U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
1 kg U	1	2,5998	1,2999.10 <sup>-3</sup>
1 lb U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	0,3846	1	0,5.10 <sup>-3</sup>
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.

## Pouvoir calorifique moyen du bois (PCI)

	GJ	MWh	Tep
1 tonne de bois (anhydre)	18,20	5,06	0,43
1 tonne de bois (humidité 50 %)	7,88	2,20	0,19

Source : FCBA (2015, memento 2015)

## 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

## Données de base sur l'hydrogène

Basic data about hydrogen

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

(1) Pouvoir calorifique inférieur Low heating value

(2) Pouvoir calorifique supérieur High heating value

Source : AFH2

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

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur NCV: Net Calorific Value

PCS : Pouvoir Calorifique Supérieur GCV: Gross Calorific Value

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

## Équivalence énergétique de l'uranium naturel

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

- du taux de rejet de l'uranium appauvri lors de la phase d'enrichissement (plus ce taux est faible, mieux on tire parti de la composante U235). Le choix du taux de rejet résulte d'un compromis entre le prix de l'uranium et celui de l'UTS (unité de travail de séparation, voir p. 50 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 2015

World: proved reserves of fossil fuels per geographical area at end 2015

2015	Anthracite et bitumineux	Sous-bitumineux et lignite	Total Minéraux solides	Ratio R/P * Minéraux solides
	Anthracite & bituminous	Sub-bituminous & lignite	Coal total	Coal R/P ratio
	Millions tonnes Million tons	Millions tonnes Million tons	Millions tonnes Million tons	Années Years
Amérique du Nord North America	112 835	132 253	245 088	276
Amérique centrale et du Sud South and Central America	7 282	7 359	14 641	150
Total Europe et Eurasie Europe & Eurasia total	92 557	217 981	310 538	273
Afrique et Moyen-Orient Africa and Middle East	32 722	214	32 936	123
Asie / Pacifique Asia / Pacific	157 803	130 525	288 328	53
<b>Total Monde World total</b>	<b>403 199</b>	<b>488 332</b>	<b>891 531</b>	<b>114</b>
dont OCDE of which OECD	155 494	229 321	384 815	206

\* Reserves / production 2015

Source : BP Statistical Review of World Energy, juin 2016

2015	Pétrole	Ratio R/P* Pétrole	Gaz naturel	Ratio R/P * Gaz naturel
	Oil	Oil R/P ratio	Natural gas	Natural gas R/P ratio
	Milliards tep Billion toe	Années Years	Mille milliards m <sup>3</sup> Trillion m <sup>3</sup>	Années Years
Amérique du Nord North America	35,9	33,1	12,8	13
Amérique centrale et du Sud South and Central America	51,0	>100	7,6	42,5
Total Europe et Eurasie Europe & Eurasia total	21,0	24,4	56,8	57,4
Afrique Africa	17,1	42,2	14,1	66,4
Moyen-Orient Middle East	108,7	73,1	80,0	>100
Asie / Pacifique Asia / Pacific	5,7	14	15,6	28,1
<b>Total Monde World total</b>	<b>239,4</b>	<b>50,7</b>	<b>186,9</b>	<b>52,8</b>
dont OCDE of which OECD	38,0	29,7	19,6	15,1

\* Reserves / production 2015

Source : BP Statistical Review of World Energy, juin 2016

## Monde : réserves d'uranium les plus importantes

World: most important uranium reserves

01/01/2013	Réserves raisonnablement assurées milliers tonnes U (<130\$/kgU) Thousand tons U	Réserves supplémentaires présumées milliers tonnes U (<130\$/kgU) Thousand tons U	Production 2012 milliers tonnes U Thousand tons U
Australie <i>Australia</i>	1 174	532	7
Canada	358	136	9
Niger	325	80	5
Kazakhstan	286	394	21
Namibie <i>Namibia</i>	248	135	5
Fédération de Russie <i>Russian Federation</i>	217	289	3
Etats Unis <i>United States</i>	207	-	2
Afrique du Sud <i>South Africa</i>	175	163	< 0,5
Brésil <i>Brazil</i>	155	121	< 0,5
Chine <i>China</i>	120	79	1
Mongolie <i>Mongolia</i>	108	33	0
<b>Total Monde</b> <b>World total</b>	<b>3 699</b>	<b>2 204</b>	<b>59</b>
dont OCDE of which OECD	1 784	692	18

Source : Uranium 2014, Resources, Production and Demand, AEN, éd 2014

## Evolution de la capacité installée mondiale d'origine renouvelable

Renewable installed world capacity evolution

Monde <b>World</b>	Source	1995	2000	2005	2010	2012	2014	2015
Puissance éolienne installée cumulée (GW)* Cumulative wind installed capacity (GW)*	GWEC (Global Wind Energy Council)	5	17	59	194	282 (dont 5,4 offshore)	370 (> 8,5 GW offshore)	433 (> 12 GW offshore)
Puissance PV installée cumulée (GWc) Cumulative PV installed capacity (GWc)	EPIA	1	1	5	41	102	177	227
Puissance solaire thermique installée cumulée (GWth) Cumulative solar thermal installed capacity (GWth)	IEA	nd	nd	nd	196	275	406	435
Puissance géothermie installée (GW) Cumulative geothermal installed capacity (GW)	REN21	6,8*	8,0*	8,9*	11	11	12,8	13,2

\* Capacité installée pour 15 pays avec actualisation pour les pays du GIA sur la période 2007-2011 - Installed capacity for 15 countries with updates for GIA countries for 2007-2011

GIA: Geothermal Implementing Agreement

Source : REN 21 (Ed 2016)

## Europe : capacité installée et production d'électricité d'origine éolienne et photovoltaïque dans les pays de l'UE

Europe: electricity production and installed capacity from wind and solar power in the EU

	Eolien (GWh) Wind fin at the end 2014	Eolien (GWh) Wind fin at the end 2015**	Puissance éolienne installée dans l'UE (MW) fin 2014 Cumulated installed wind power in the EU end of 2014	Puissance éolienne installée dans l'UE (MW) fin 2015** Installed wind power in the EU end of 2015**	PV (GWh) Solar 2014	PV (GWh) Solar 2015**	Puissance photovoltaïque cumulée dans l'UE (MWc) fin 2015** Cumulated photovoltaic capacity in the EU end of 2015**	Puissance photovoltaïque cumulée dans l'UE (MWc) fin 2015** Cumulated photovoltaic capacity in the EU end of 2015**	Puissance photovoltaïque cumulée dans l'UE (MWc) fin 2015** Cumulated photovoltaic capacity in the EU end of 2015**
							Réseau On grid	Hors réseau Off grid	Total
Allemagne Germany	57 357	87 975	39 128,2	44 946,4	36 056	38 432	39 697,8	65,0	39 762,8
Autriche Austria	3 846	5 200	2 086,0	2 409,0	785	935	929,8	5,5	935,3
Belgique Belgium	4 614	5 752	1 958,7	2 228,8	2 883	2 865	3 228,0	0,1	3 228,1
Bulgarie Bulgaria	1 304	1 313	691,2	691,2	1 244	1 305	1 019,8	0,7	1 020,5
Chypre Cyprus	182	230	146,7	157,5	61	87	68,4	1,1	69,5
Croatie Croatia	730	786	339,5	420,5	36	54	44,0	0,9	44,9
Danemark Denmark	13 079	14 100	4 887,0	5 013,0	596	724	780,5	2,0	782,5
Espagne Spain	52 013	48 380	23 025,3	23 025,3	8 218	8 264	4 761,8	159,0	4 920,8
Estonie Estonia	604	693	334,0	334,0	1	2	4,0	0,1	4,1
Finlande Finland	1 107	2 329	632,0	1 005,0	8	10	0,2	14,5	14,7
<b>France*</b>	<b>17 249</b>	<b>21 100</b>	<b>9 313,0</b>	<b>10 312,0</b>	<b>5 905</b>	<b>6 700</b>	<b>6 548,5</b>	<b>30,0</b>	<b>6 578,5</b>
Grèce Greece	3 689	4 130	1 979,0	2 150,8	3 792	3 818	2 606,2	7,0	2 613,2
Hongrie Hungary	657	724	329,0	329,0	56	108	137,0	0,7	137,7
Irlande Ireland	5 140	5 500	2 262,3	2 486,3	1	1	1,2	0,9	2,1
Italie Italy	15 178	14 589	8 638,0	8 933,0	22 306	22 847	18 910,0	14,0	18 924,0
Lettonie Latvia	141	145	69,0	69,0	0	1	1,5	0,0	1,5
Lituanie Lithuania	636	777	282,0	424,3	73	73	73,0	0,1	73,1
Luxembourg	80	81	58,3	63,0	95	108	125,0	0,0	125,0
Malte Malta	0	0	0,0	0,0	68	96	73,2	0,0	73,2
Pays-Bas Netherlands	5 797	7 237	2 865,0	3 390,0	785	1 052	1 400,0	5,0	1 405,0
Pologne Poland	7 676	9 830	3 836,0	5 100,0	19	56	84,0	2,9	86,9
Portugal	12 111	11 878	4 947,0	5 079,0	627	789	455,0	5,0	460,0
Rep. Tchèque Czech Republic	477	610	278,1	282,1	2 123	2 261	2 083,0	0,4	2 083,4
Rep. Slovaque Slovak Republic	6	6	5,0	5,0	625	626	591,0	0,1	591,1
Roumanie Romania	4 724	5 632	2 952,9	2 975,9	1 295	1 328	1 325,0	0,0	1 325,0

\* Départements d'Outre-Mer non inclus Overseas departments non included - \*\* Estimation

Source : EurObserver 2016



## Europe : capacité installée et production d'électricité d'origine éolienne et photovoltaïque dans les pays de l'UE

Europe: electricity production and installed capacity from wind and solar power in the EU

	Eolien (GWh) Wind fin at the end 2014	Eolien (GWh) Wind fin at the end 2015**	Puissance éolienne installée dans l'UE (MW) fin 2014 Cumulated installed wind power in the EU end of 2014	Puissance éolienne installée dans l'UE (MW) fin 2015** Installed wind power in the EU end of 2015**	PV (GWh) Solar 2014	PV (GWh) Solar 2015**	Puissance photovolt. cumulée dans l'UE (MWh) fin 2015** Cumulated photovolt. capacity in the EU end of 2015**	Puissance photovolt. cumulée dans l'UE (MWh) fin 2015** Cumulated photovolt. capacity in the EU end of 2015**	Puissance photovolt. cumulée dans l'UE (MWh) fin 2015** Cumulated photovolt. capacity in the EU end of 2015**
							Réseau On grid	Hors réseau Off grid	Total
Royaume-Uni United Kingdom	32 016	38 010	12 987,5	13 855,0	4 050	7 556	8 915,4	2,3	8 917,7
Slovénie Slovenia	4	7	4,0	4,0	257	284	257,3	0,1	257,4
Suède Sweden	11 234	16 500	5 425,0	6 029,1	72	117	120,0	10,0	130,0
<b>UE 28</b> <b>EU 28</b>	<b>251 651</b>	<b>303 514</b>	<b>129 459,71</b>	<b>41 718,2</b>	<b>92 037</b>	<b>100 499</b>	<b>94 240,6</b>	<b>327,4</b>	<b>94 568,0</b>

\* Départements d'Outre-Mer non inclus Overseas departments non included - \*\* Estimation

Source : EurObserver 2016

## Europe : puissance éolienne offshore installée dans les pays de l'UE\*

Europe: installed capacity for offshore wind power in the EU countries\*

MW	Fin 2014 End of 2014	Fin 2015 End of 2015	MW	Fin 2014 End of 2014	Fin 2015 End of 2015
Royaume-Uni United Kingdom	4 501,3	5 104,5	Suède Sweden	211,7	201,7
Danemark Denmark	1 271,1	1 271,1	Finlande Finland	28	28
Allemagne Germany	1 012,5	3 294,9	Irlande Ireland	25,2	25,2
Belgique Belgium	712,2	712,2	Espagne Spain	5	5
Pays-Bas Netherlands	228	357	Portugal Portugal	2	2
			Total EU 28	7 997,0	11 001,6

\* et connectée au réseau. \*and connected to the grid.

Source : EurObserver 2016

## Potentiels de biomasses en France

Origine	Biomasses	Total produit (kTep équivalent)	Supplémentaire disponible (kTep équivalent)
Agriculture	cultures dédiées à l'énergie y.c. taillis à courte rotation	32,0	0,0
Agriculture	résidus cultures annuelles	36 216,0	3 348,0
Agriculture	déchets cultures pérennes	943,0	nd
Agriculture	issus de silo	249,0	nd
Agriculture	effluents d'élevage	7 214,0	863,0
Forêt	forêts (hors peupleraies)	17 947,6	7 810,0
Forêt	peupleraies	172,0	63,4
IAA	coproduits	2 856,2	5,2
IAA	boues et effluents	nd	nd
Urbain	déchets verts et urbains	13 498,8	44,7
	Total	79 128,6	12 134,3

Notes : IAA : industries agro-alimentaires - nd : non disponible

Source : : d'après l'Observatoire national des ressources en biomasse - Evaluation des ressources disponibles en France - Edition 2015 – Les études de FranceAgriMer

## Description de la forêt en France

Surface totale (M ha) : 54,8

Forêt (M ha) : 16

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

Production biologique forestière : 90,3 Mm<sup>3</sup> dont 51,6 de feuillus, 36,3 de résineux et 2,4 de peupleraies en plein.

64,5 Mm<sup>3</sup> proviennent de forêt privée.

Récolte de bois commercialisée en 2013 : 35,8 Mm<sup>3</sup> (sur écorce)

Dont 18,5 : bois d'œuvre

Dont 10,4 : bois d'industrie

Dont 6,9 bois énergie (plaquettes forestières : 1,8) dont 2,7 certifiée

La récolte de bois de feu en forêt est estimée à 21 Mm<sup>3</sup> (hors vergers, haies et alignements).

Source : *Mémento FCBA 2015*

## Production mondiale de biocarburants (2014) :

• Biodiesel : 30,5 milliards de litres (+ 6 % par rapport à 2013) dont 14,1 en Europe-EU 28 (+ 8 %) et 5 aux Etats-Unis (en baisse).

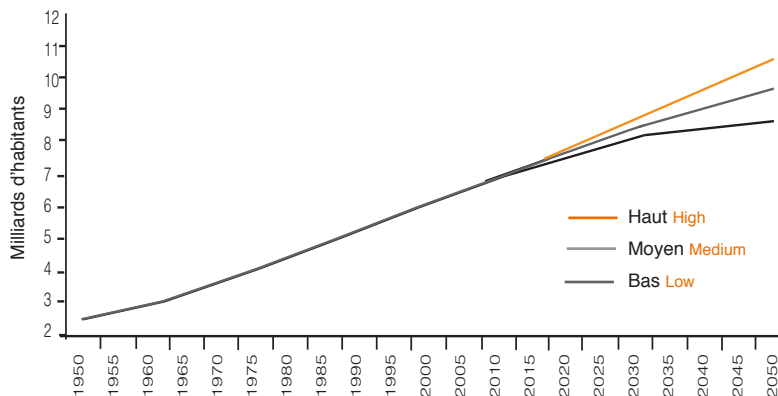
• Bioéthanol : 128 milliards de litres (+ 7 % par rapport à 2013) dont 61,8 et 31,3 Mds de litres pour, respectivement les Etats-Unis (+ 6 %) et le Brésil (+ 11 %), 10 milliards de litres en Europe-EU 28 (+ 12 %).

Source : *base de données OCDE*

## CONSOMMATION

### Scénario d'évolution de la population mondiale

### Scenario of evolution of world population



Source : *United Nations Secretariat, World Population Prospects database*  
(<http://esa.un.org/unpd/wpp/Excel-Data/population.htm>)

## Monde : données générales pour 2014

World: General data for 2014

Année 2014 Year 2014	Population (millions hab) (Million inhab)	PIB (PPA milliards US\$2010) GDP (PPP billion US\$2010)	Consommation finale d'énergie <sup>(1)</sup> (millions tep) Final consumption of energy <sup>(1)</sup> (million toe)	Consommation d'électricité (TWh) Consumption of electricity (TWh)
<b>Amérique OCDE <sup>(2)</sup></b> OECD America <sup>(2)</sup>	492	19 961	1 881	5 018
dont Etats-Unis of which USA	319	16 157	1 538	4 137
<b>Amérique non OCDE</b> Non OECD America	480	6 528	474	1 011
dont Brésil of which Brazil	206	3 061	232	517
<b>Europe OCDE <sup>(3)</sup></b> OECD Europe <sup>(3)</sup>	561	18 697	1 172	3 294
Union européenne 28 European Union 28	508	17 268	1 095	3 003
<b>dont France</b> <b>of which France</b>	<b>66</b>	<b>2 407</b>	<b>148</b>	<b>460</b>
<b>Non OCDE Europe et Eurasie <sup>(4)</sup></b> non OECD Europe and Eurasia <sup>(4)</sup>	343	5 641	713	1 557
<b>Moyen-Orient</b> Middle East	224	4 946	476	875
<b>Afrique</b> Africa	1 156	4 959	559	657
<b>Asie</b> Asia	3 779	33 085	3 211	7 681
dont : of which:				
Chine China	1 372	17 214	1 997	5 402
Inde India	1 295	6 902	556	1 042
<b>Asie Océanie</b> OCDE <sup>(5)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(5)</sup>	214	7 581	576	1 859
<b>Total Monde</b> <b>World Total</b>	<b>7 249</b>	<b>101 390</b>	<b>9 425</b>	<b>21 963</b>
dont OCDE of which OECD	1 267	46 238	3 629	10 172

(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

Différence entre somme et total annoncé = Bunkers (marine et aviation)

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

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

(4) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie - Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgizstan, Lettonie, Lituanie, Malte, République de Moldavie, Roumanie, République de Macédoine, Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine, Ouzbékistan - Albania, Armenia, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnia - Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lithuania, FYR of Macedonia, Malta, Republic of Moldova, Romania, Russia, Serbia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan

(5) Australie, Israël, Japon, Corée et Nouvelle Zélande - Australia, Israël, Japan, Korea & New Zealand

Source : Bilans Energétiques, Statistiques, Monde AIE, éd 2016 World Energy Balances, Statistics, IEA, 2016 edition

## Monde : données générales pour 2014 (suite)

World: General data for 2014

Année 2014 Year 2014	Consommation finale d'énergie par habitant (kep/hab) Final consumption of energy per capita (koe/capita)	Consommation finale d'énergie par unité de PIB <sup>(6)</sup> (kep/millier US\$2005) Final consumption of energy per GDP unit <sup>(6)</sup> (koe/thousand US\$2005)	Consommation finale d'électricité par habitant (kWh/hab) Final consumption of electricity per capita (kWh/capita)	Consommation finale d'électricité par unité de PIB <sup>(7)</sup> (kWh/millier US\$2005) Final consumption of electricity per GDP unit <sup>(7)</sup> (kWh/thousand US\$2005)
Amérique OCDE <sup>(2)</sup> OECD America <sup>(2)</sup>	3 821	94	10 193	251
dont Etats-Unis of which USA	4 817	95	12 961	256
Amérique latine Latin America	987	73	2 105	155
dont Brésil of which Brazil	1 126	76	2 507	169
Europe OCDE <sup>(3)</sup> OECD Europe <sup>(3)</sup>	2 090	63	5 874	176
Union européenne 28 European Union 28	2 155	63	5 909	174
dont France of which France	<b>2 230</b>	<b>61</b>	<b>6 952</b>	<b>191</b>
Non OCDE Europe et Eurasie <sup>(4)</sup> non OECD Europe and Eurasia <sup>(4)</sup>	2 080	126	4 543	276
Moyen-Orient Middle East	2 127	96	3 910	177
Afrique Africa	484	113	568	132
Asie Asia	850	97	2 033	232
dont : of which:				
Chine China	1 456	116	3 938	314
Inde India	429	81	805	151
Asie Océanie OCDE <sup>(5)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(5)</sup>	2 692	76	8 692	245
<b>Total Monde</b> <b>World Total</b>	<b>1 300</b>	<b>93</b>	<b>3 030</b>	<b>217</b>
dont OCDE of which OECD	2 864	78	8 029	220

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

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

(4) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie - Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgizstan, Lettonie, Lituanie, Malte, République de Moldavie, Roumanie, République de Macédoine, Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine, Ouzbékistan - Albania, Armenia, Azerbaijan, Belarus, Bosnia - Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgizstan, Latvia, Lithuania, FYR of Macedonia, Malta, Republic of Moldova, Romania, Russia, Serbia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan

(5) Australie, Israël, Japon, Corée et Nouvelle Zélande - Australia, Israël, Japan, Korea & New Zealand

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

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

Source : Bilans Énergétiques, Statistiques, Monde AIE, éd 2016 World Energy Balances, Statistics, IEA, 2016 edition

## Monde : approvisionnement total en énergie primaire \*

World: total primary energy supply \*

Mtep Mtoe	1990	2000	2010	2011	2012	2013	2014	%/an %/year 1990- 2014
<b>Amérique OCDE<sup>(1)</sup></b> <b>OECD America<sup>(1)</sup></b>	2 264	2 702	2 686	2 663	2 618	2 685	2 720	0,7
<b>dont Etats-Unis</b> <b>of which USA</b>	1 915	2 273	2 215	2 191	2 140	2 183	2 216	0,5
<b>Amérique non OCDE</b> <b>Non OECD America</b>	327	424	579	589	607	619	639	2,4
<b>dont Brésil</b> <b>of which Brazil</b>	140	187	266	270	282	294	303	2,7
<b>Europe OCDE<sup>(2)</sup></b> <b>OECD Europe<sup>(2)</sup></b>	1 619	1 748	1 820	1 758	1 748	1 737	1 674	0,3
<b>Union européenne 28</b> <b>European Union 28</b>	1 645	1 695	1 725	1 660	1 646	1 626	1 565	0,0
<b>dont France</b> <b>of which France</b>	224	252	261	253	252	253	243	0,5
<b>Non OCDE Europe et Eurasie<sup>(3)</sup></b> <b>non OECD Europe and Eurasia<sup>(3)</sup></b>	1 537	1 004	1 117	1 182	1 178	1 154	1 124	-1,0
<b>Moyen-Orient</b> <b>Middle East</b>	211	354	623	637	677	681	721	4,5
<b>Afrique</b> <b>Africa</b>	393	496	694	709	734	750	772	2,4
<b>Asie</b> <b>Asia</b>	1 576	2 187	4 155	4 354	4 429	4 681	4 807	4,1
dont : of which:								
<b>Chine</b> <b>China</b>	879	1 149	2 629	2 762	2 823	3 019	3 066	4,7
<b>Inde</b> <b>India</b>	306	441	693	752	752	776	825	3,7
<b>Asie Océanie OCDE<sup>(4)</sup></b> <b>OECD Asia Oceania<sup>(4)</sup></b>	642	850	918	885	887	888	879	1,3
<b>Soutes maritimes internationales</b> <b>International marine bunkers</b>	116	155	207	208	191	191	195	2,4
<b>Soutes aviation internationales</b> <b>International aviation bunkers</b>	86	118	153	160	161	164	168	2,5
<b>Total Monde</b> <b>World Total</b>	8 772	10 037	12 952	13 129	13 228	13 549	13 699	1,6
<b>dont OCDE</b> <b>of which OECD</b>	4 526	5 300	5 424	5 301	5 251	5 310	5 273	0,6

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

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

(3) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie - Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirghizstan, Lettonie, Lituanie, Malte, République de Moldavie, Roumanie, République de Macédoine, Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine, Ouzbékistan - Albania, Armenia, Azerbaijan, Belarus, Bosnia - Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, Kirghyzstan, Latvia, Lithuania, FYR of Macedonia, Malta, Republic of Moldova, Romania, Russia, Serbia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan

(4) Australie, Israël, Japon, Corée et Nouvelle Zélande - Australia, Israël, Japan, Korea & 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 Monde, AIE, éd 2016 - World Energy Balances, IEA, 2016 ed.

Monde : scénario de référence\* pour l'approvisionnement en énergie primaire

World: reference scenario\* for primary energy supply

	1990		2013		2020		2030		2040	
	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%
<b>Amérique OCDE</b> <sup>(1)</sup> OECD America <sup>(1)</sup>	2 262	26	2 694	20	2 749	19	2 707	17	2 746	16
<b>Amérique latine</b> Latin America	327	4	618	5	678	5	797	5	932	5
<b>Europe OCDE</b> <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	1 631	19	1 760	13	1 711	12	1 620	10	1 554	9
<b>UE 28</b> EU 28	1 643	19	1 624	12	1 563	11	1 455	9	1 377	8
<b>Europe de l'Est /Eurasie</b> <sup>(3)</sup> Eastern Europ / Eurasia <sup>(3)</sup>	1 538	18	1 139	9	1 152	8	1 231	8	1 316	8
<b>Moyen-Orient</b> Middle East	211	2	689	5	822	6	1 002	6	1 171	7
<b>Afrique</b> Africa	391	5	744	6	880	6	1 067	7	1 302	7
<b>Asie non OCDE</b> Non OECD Asia dont : of which:	1 579	18	4 693	35	5 478	38	6 592	41	7 518	43
Inde India	308	4	775	6	1 018	7	1 440	9	1 908	11
Chine China	879	10	3 037	23	3 412	24	3 848	24	4 020	23
<b>Asie Océanie OCDE</b> <sup>(4)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(4)</sup>	632	7	870	7	884	6	884	6	866	5
<b>Total</b>	<b>8 571</b>	<b>100</b>	<b>13 207</b>	<b>100</b>	<b>14 354</b>	<b>100</b>	<b>15 900</b>	<b>100</b>	<b>17 405</b>	<b>100</b>
dont OCDE of which OECD	4 525	53	5 324	40	5 344		5 210		5 167	30
<b>Monde</b> World	<b>8 772</b>	<b>100</b>	<b>13 558</b>	<b>100</b>	<b>14 743</b>	<b>100</b>	<b>16 349</b>	<b>100</b>	<b>17 935</b>	<b>100</b>
dont : of which:										
Charbon Coal	2 221	25	3 929	29	4 033	27	4 219	26	4 414	25
Pétrole Oil	3 237	37	4 219	31	4 461	30	4 612	28	4 735	26
Gaz Gas	1 662	19	2 901	21	3 178	22	3 691	23	4 239	24
Nucléaire Nuclear	526	6	646	5	831	6	1 042	6	1 201	7
Hydraulique Hydro	184	2	326	2	383	3	467	3	531	3
Biomasse et déchets Biomass & Waste	905	10	1 376	10	1 541	10	1 727	11	1 878	10
Autres renouvelables Other renewables	37	0,4	1 61	1,2	316	2	591	4	937	5

\* Seule prise en compte des politiques déjà adoptées et mises en place.

\* Only taking into account policies already formally adopted and implemented.

La différence entre les totaux par région et par énergie provient des soutes maritimes internationales.

The difference between total by region and by energy comes from international marine bunkers.

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

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

(3) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie - Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgizstan, Lettonie, Lituanie, Malte, République de Moldavie, Roumanie, République de Macédoine, Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine, Ouzbékistan - Albania, Armenia, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnia - Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lithuania, FYR of Macedonia, Malta, Republic of Moldova, Romania, Russia, Serbia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan

(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 2015, AIE - World Energy Outlook 2015, IEA

## Monde : consommation finale d'énergie en 2014

World: final consumption of energy for 2014

(Mtep) (Mtoe)	Charbon Coal	Pétrole Oil	Gaz naturel Natural gas	Géothermie solaire, etc Geothermal, solar, etc	Biocarburants & déchets Biofuels & waste	Chaleur Heat	Electricité Electricity	Total
Amérique OCDE <sup>(1)</sup> OECD America <sup>(1)</sup>	28	921	420	3	107	6	395	1 881
dont Etats-Unis of which USA	22	744	355	2	82	6	326	1 538
Amérique non OCDE Non OECD America	11	230	62	1	88	-	83	474
dont Brésil of which Brazil	8	110	13	1	58	-	43	232
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	47	491	247	5	80	45	257	1 172
Union européenne 28 European Union 28	37	460	235	nd	nd	nd	233	1 095
<b>dont France</b> <b>of which France</b>	<b>3</b>	<b>67</b>	<b>28</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>36</b>	<b>148</b>
Europe non OCDE et Eurasie <sup>(3)</sup> Non OECD Europe and Eurasia <sup>(3)</sup>	36	203	212	0	16	138	107	713
Moyen-Orient Middle East	3	230	173	0	1	-	70	476
Afrique <i>Africa</i>	21	145	34	0	306	-	52	559
Asie <i>Asia</i>	891	878	203	25	542	79	593	3 211
dont : of which:								
Chine <i>China</i>	727	454	107	25	196	78	409	1 997
Inde <i>India</i>	114	156	29	1	175	-	81	556
Asie Océanie OCDE <sup>(4)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(4)</sup>	38	299	69	2	13	5	149	576
<b>Total Monde</b> <b>World total</b>	<b>1 075</b>	<b>3 761</b>	<b>1 420</b>	<b>37</b>	<b>1 152</b>	<b>274</b>	<b>1 706</b>	<b>9 425</b>
dont OCDE of which OECD	113	1 712	737	10	199	57	802	3 629

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

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

(3) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie - Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgizstan, Lettonie, Lituanie, Malte, République de Moldavie, Roumanie, République de Macédoine, Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine, Ouzbékistan - *Albania, Armenia, Azerbaijan, Belarus, Bosnia - Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lithuania, FYR of Macedonia, Malta, Republic of Moldova, Romania, Russia, Serbia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan*

(4) Australie, Israël, Japon, Corée et Nouvelle Zélande - *Australia, Israel, Japan, Korea & 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 de combustible) - *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 Monde, AIE éd 2016 World Energy Balances, IEA, 2016 ed.*

# Monde : scénario de référence\* pour la consommation finale d'énergie

World: reference\* scenario for final consumption of energy

	1990		2013		2020		2030		2040	
	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%
<b>Amérique OCDE</b> <sup>(1)</sup> <b>OECD America</b> <sup>(1)</sup>	1 548	25	1 834	21	1 901	20	1 874	17	1 874	16
Dont USA <i>Of which USA</i>	1 294	42	1 480	41	1 531	41	1 486	41	1 463	41
<b>Amérique latine</b> <b>Latin America</b>	249	4	464	5	517	5	612	6	712	6
Dont Brésil <i>Of which Brazil</i>	111	2	229	3	255	3	311	3	365	3
<b>Europe OCDE</b> <sup>(2)</sup> <b>OECD Europe</b> <sup>(2)</sup>	1 130	19	1 231	14	1 220	13	1 182	11	1 144	10
UE 28 <i>EU 28</i>	1 131	19	1 137	13	1 139	12	1 066	10	1 015	9
<b>Europe de l'Est /Eurasie</b> <sup>(3)</sup> <b>Eastern Europ / Eurasia</b> <sup>(3)</sup>	1 073	18	687	8	719	7	794	7	854	7
Moyen-Orient <i>Middle East</i>	150	2	455	5	567	6	706	7	838	7
Afrique <i>Africa</i>	292	5	545	6	644	7	760	7	891	8
<b>Asie non OCDE</b> <b>Non OECD Asia</b>	1 212	20	2 985	34	3 552	37	4 292	40	4 875	42
dont : of which:										
Inde <i>India</i>	245	4	527	6	686	7	968	9	1 275	11
Chine <i>China</i>	669	11	1 821	21	2 117	22	2 403	22	2 498	21
<b>Asie Océanie OCDE</b> <sup>(4)</sup> <b>OECD Asia Oceania</b> <sup>(4)</sup>	429	7	568	6	569	6	549	5	528	5
<b>Monde World</b>	<b>6 083</b>	<b>100</b>	<b>8 769</b>	<b>100</b>	<b>9 689</b>	<b>100</b>	<b>10 769</b>	<b>100</b>	<b>11 716</b>	<b>100</b>
dont OCDE / of which OECD	3 107	51	3 633	41	3 690	38	3 605	33	3 546	30
<b>Monde World</b>	<b>6 283</b>	<b>100</b>	<b>9 120</b>	<b>100</b>	<b>10 079</b>	<b>100</b>	<b>11 220</b>	<b>100</b>	<b>12 242</b>	<b>100</b>
dont : of which:										
Charbon <i>Coal</i>	766	12	956	10	1 011	10	1 061	9	1 074	9
Pétrole <i>Oil</i>	2 609	42	3 662	40	3 959	39	4 203	37	4 394	36
Gaz <i>Gas</i>	944	15	1 372	15	1 578	16	1 847	16	2 105	17
Electricité <i>Electricity</i>	834	13	1 677	18	1 974	20	2 429	22	2 897	24
Chaleur <i>Heat</i>	335	5	290	3	301	3	314	3	314	3
Biomasse et déchets <i>Biomass &amp; Waste</i>	792	13	1 129	12	1 202	12	1 278	11	1 328	11
Autres renouvelables <i>Other renewables</i>	3	0,0	34	0,4	54	0,5	88	0,8	130	1,1

Seule prise en compte des politiques déjà adoptées et mises en place.

\* Only taking into account policies already formally adopted and implemented.

La différence entre les totaux par région et par énergie provient des soutes maritimes internationales.

The difference between total by region and by energy comes from international marine bunkers.

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

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

(3) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgystan, Lettonie, Lituanie, Malte, Rép. de Moldavie, Roumanie, Rép. de Macédoine, Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine, Ouzbékistan - *Albania, Armenia, Azerbaijan, Belarus, Bosnia - Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lithuania, FYR of Macedonia, Malta, Republic of Moldova, Romania, Russia, Serbia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan*

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

Source : World Energy Outlook 2015, AIE *World Energy Outlook 2015, IEA*



## Europe : données générales pour 2014

Europe: general data for 2014

Année 2014 Year 2014	Population (millions habitants)  (million inhabitants)	PIB (PPA milliards US\$2010) GDP (PPP billion US\$2010)	Approvision- nement en énergie primaire (millions tep) Primary energy supply (million toe)	Consommation finale d'énergie (millions tep) Final consumption of energy (million toe)	Consommation d'électricité (TWh) Electricity consumption (TWh)
Allemagne Germany	81,0	3 438	306	216	570
Autriche Austria	8,5	365	32	27	71
Belgique Belgium	11,2	442	53	40	86
Bulgarie Bulgaria	7,2	117	18	9	34
Chypre Cyprus	0,9	26	2	1	4
Croatie Croatia	4,2	81	8	7	16
Danemark Denmark	5,6	237	16	13	33
Espagne Spain	46,5	1 449	115	79	249
Estonie Estonia	1,3	33	6	3	9
Finlande Finland	5,5	205	34	25	83
<b>France</b>	<b>66,2</b>	<b>2 407</b>	<b>243</b>	<b>148</b>	<b>460</b>
Grèce Greece	10,9	265	23	15	55
Hongrie Hungary	9,9	228	23	17	39
Irlande Ireland	4,6	216	13	10	26
Italie Italy	60,8	1 969	147	117	304
Lettonie Latvia	2,0	43	4	4	7,0
Lituanie Lithuania	2,9	73	7	6	11
Luxembourg	0,6	47	4	4	8
Malte Malta	0,4	12	1	0,4	2
Pays-Bas Netherlands	16,9	752	73	57	113
Pologne Poland	38,5	886	94	65	151
Portugal	10,4	268	21	16	49
Rép. Tchèque Czech Republic	10,5	291	41	25	66
Rép. Slovaque Slovak Republic	5,4	144	16	10	28
Roumanie Romania	19,9	363	32	23	51
Royaume-Uni United Kingdom	64,6	2 441	179	123	331
Slovénie Slovenia	2,1	57	7	5	14
Suède Sweden	9,7	415	48	32	131
<b>Union européenne (28) European Union (28)</b>	<b>508</b>	<b>17 268</b>	<b>1 565</b>	<b>1 095</b>	<b>3 003</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, Slovaquie et Etats Baltes) - Combustible Renewables and waste are not included for non-OECD countries (Bulgaria, Cyprus, Malta, Romania, Slovakia and Baltic States)

Source : Bilans Energétiques, Statistiques, Monde AIE, éd 2016 World Energy Balances, Statistics, IEA, 2016 edition

## Europe : données générales pour 2014

Europe: general data for 2014

Année 2014 Year 2014	Consommation finale d'énergie par unité de PIB <sup>(1)</sup> (kep/millier US\$2010) Final energy consumption per GDP unit <sup>(1)</sup> (koe/thousand US\$2010)	Consommation d'électricité par habitant (kWh/hab) Electricity consumption per head (kWh/head)	Consommation d'électricité par unité de PIB <sup>(2)</sup> (kWh/millier US\$2010) Electricity consumption per GDP unit <sup>(2)</sup> (kWh/thousand US\$2010)
Allemagne Germany	63	7 035	166
Autriche Austria	73	8 420	195
Belgique Belgium	91	7 714	196
Bulgarie	80	4 722	291
Chypre Cyprus	55	4 644	164
Danemark Denmark	54	5 900	140
Espagne Spain	54	5 355	172
Estonie Estonia	88	6 742	268
Finlande Finland	120	15 145	407
<b>France</b>	<b>61</b>	<b>6 952</b>	<b>191</b>
Grèce Greece	58	5 055	208
Hongrie Hungary	74	3 953	171
Irlande Ireland	47	5 739	122
Italie Italy	59	5 002	154
Lettonie Latvia	91	3 495	164
Lituanie Lithuania	79	3 862	153
Luxembourg	77	14 000	162
Malte Malta	38	5 350	183
Pays-Bas Netherlands	75	6 698	151
Pologne Poland	74	3 922	170
Portugal	60	4 663	181
Rép. Tchèque Czech Republic	86	6 270	227
Rép. Slovaque Slovak Republic	68	5 139	194
Roumanie	63	2 583	141
Royaume-Uni United Kingdom	50	5 130	136
Slovénie Slovenia	84	6 748	246
Suède Sweden	77	13 474	315
<b>Union européenne (28) European Union (28)</b>	<b>63</b>	<b>5 909</b>	<b>174</b>

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

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

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

Source : Bilans Energétiques, Statistiques, Monde AIE, éd 2016 World Energy Balances, Statistics, IEA, 2016 edition

Europe : consommation de biocarburants destinés au transport dans l'UE en 2015\*  
 Europe: biofuel consumption for transport in the European Union in 2015\*

Ktep Ktoe	Bioethanol Bioethanol	Biodiesel*** Biodiesel***	Biogaz carburant Biogas fuel	Consommation totale Total consumption
Allemagne Germany	756,4	1 780,7	41,8	2 578,9
Autriche Austria	57,8	444,5	0,0	502,3
Belgique Belgium	37,7	229,4	0,0	267,1
Bulgarie**** Bulgaria****	14,8	93,7	0,0	108,5
Chypre Cyprus	0,0	9,4	0,0	9,4
Croatie**** Croatia****	0,0	29,3	0,0	29,3
Danemark** Denmark**	0,0	205,9	0,0	205,9
Espagne Spain	181,9	788,7	0,0	970,6
Estonie**** Estonia****	5,8	0,0	0,0	5,8
Finlande**** Finland****	69,9	364,6	1,9	436,4
<b>France</b>	<b>433,8</b>	<b>2 562,4</b>	<b>0,0</b>	<b>2 996,2</b>
Grèce Greece	0,0	143,2	0,0	143,2
Hongrie Hungary	87,0	122,7	0,0	209,7
Irlande Ireland	30,4	97,6	0,0	128,0
Italie Italy	21,9	1 131,2	0,0	1 153,1
Lettonie**** Latvia****	6,4	17,7	0,0	24,1
Lituanie Lithuania	9,7	57,8	0,0	67,5
Luxembourg	7,2	73,9	0,0	81,1
Malte Malta	0,0	4,8	0,0	4,8
Pays-Bas Netherlands	141,9	178,5	0,0	320,4
Pologne Poland	159,5	587,1	0,0	746,6
Portugal	22,1	329,0	0,0	351,1
Rép. Tchèque Czech Republic	78,6	265,5	0,0	344,1
Rép. Slovaque**** Slovak Republic****	30,9	105,2	0,0	136,1
Roumanie**** Romania****	41,9	125,5	0,0	167,4
Royaume-Uni United Kingdom	405,0	520,3	0,0	925,3
Slovénie**** Slovenia****	5,8	36,2	0,0	42,0
Suède Sweden	136,3	849,2	105,9	1 091,4
<b>Union européenne (28) European Union (28)</b>	<b>2 742,7</b>	<b>11 154,0</b>	<b>149,6</b>	<b>14 046,3</b>

\* Estimation

\*\* Pour le Danemark, le biodiesel et le bioéthanol ont été mélangés pour des raisons de confidentialité, le chiffre de la consommation totale contient à la fois le bioéthanol et le biodiesel. \*\* For Denmark, biodiesel and bioethanol is mixed due to confidentiality, so the figure contains both bioethanol and biodiesel.

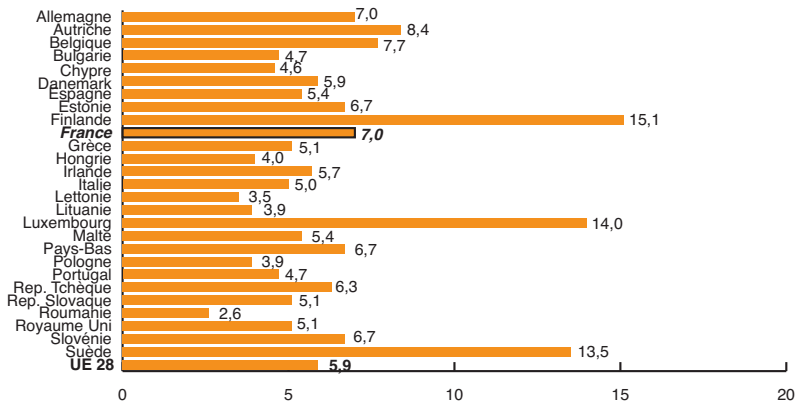
\*\*\* Huiles végétales incluses dans le chiffre du biodiesel. \*\*\* Vegetable oil included in the biodiesel figure.

\*\*\*\* Données de consommation 2014 pour la Croatie, la Lettonie, l'Estonie, la Slovénie, la Bulgarie, la Roumanie, la République Slovaque et la Finlande (non disponibles pour 2015). \*\*\*\* 2014 consumption data for Croatia, Latvia, Estonia, Slovenia, Bulgaria, Romania, Slovak Republic and Finland (not available for 2015).

Source : EurObserver 2016

## Consommation d'électricité par habitant (MWh/hab)

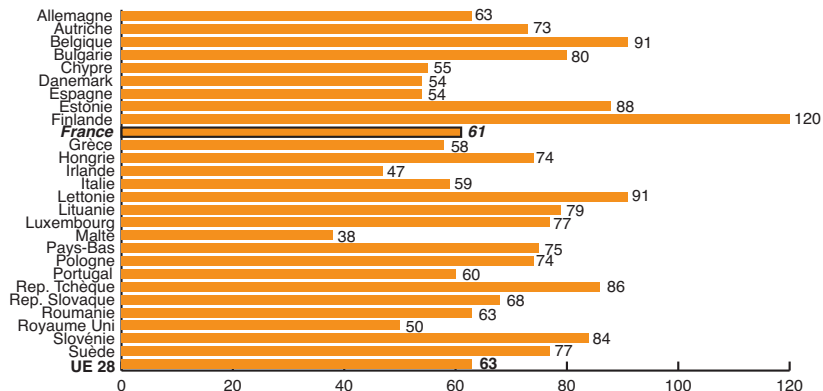
Electricity consumption per head (MWh/capita)



Source : Bilans Energétiques, Statistiques, Monde AIE, éd 2016 World Energy Balances, Statistics, IEA, 2016 edition

## Consommation finale d'énergie par unité de PIB <sup>(1)</sup> (koe/millier US\$2010)

Final energy consumption per GDP unit <sup>(1)</sup> (koe/thousand US\$2010)



Source : Bilans Energétiques, Statistiques, Monde AIE, éd 2016 World Energy Balances, Statistics, IEA, 2016 edition

## France : consommation d'énergie primaire (corrégée du climat) par énergie

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

Mtep Mtoe	1973	1980	1990	2000	2010	2015	%an 1973-2015 %/Year	Parts (%) Share (%)	
								1973	2015
Charbon Coal	27	31	19	14	12	8	-2,7%	15,6	3,3
Pétrole Oil	119	107	88	95	81	77	-1,0%	67,7	30,1
Gaz Gas	13	21	26	38	40	37	2,4%	7,4	14,2
Electricité primaire <sup>(1)</sup> Primary electricity <sup>(1)</sup>	8	22	83	109	115	117	6,5%	4,4	45,4
Energies renouvelables thermiques et déchets Thermal renewable energies and waste	9	8	11	13	16	18	1,7%	5,0	7,1
<b>Total</b>	<b>175</b>	<b>190</b>	<b>227</b>	<b>269</b>	<b>264</b>	<b>257</b>	<b>0,9%</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

(1) Nucléaire + hydraulique, éolien et photovoltaïque Nuclear + hydro, wind & photovoltaic

Source : Bilan énergétique de l'année 2015 de la France, Service de l'Observation et des Statistiques

## France : consommation d'énergie finale (corrégée du climat) par énergie

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

Mtep Mtoe	1973	1980	1990	2000	2010	2015	%an 1973-2015 %/Year	Parts (%) Share (%)	
								1973	2015
Charbon Coal	18	13	10	7	6	5	-2,8	13,3	3,5
Pétrole Oil	84	78	70	74	66	61	-0,8	63,9	40,8
Gaz Gas	9	17	23	33	32	31	3,0	6,5	20,4
Electricité Electricity	13	18	26	34	38	37	2,5	9,9	24,9
Energies renouvelables Renewable energy	9	8	10	11	14	16	1,4	6,5	10,4
<b>Total énergétique</b>	<b>132</b>	<b>134</b>	<b>139</b>	<b>159</b>	<b>155</b>	<b>149</b>	<b>0,3</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Source : Bilan énergétique de l'année 2015 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 Mtoe	1973	1980	1990	2000	2010	2015	%an 1973 2015 %/Year	Parts (%) Share (%)	
								1973	2015
Industrie Industry	48	45	38	39	34	28	-0,8	33	18
dont sidérurgie of which iron and steel industry	13	11	7	6	5	5	-2,1	9	3
Résidentiel- tertiaire Residential-tertiary	55	54	56	67	68	67	0,5	38	41
Agriculture	4	3	4	3	4	5	0,4	3	3
Transports	26	32	41	49	49	49	1,5	18	30
Total énergétique Energy total	132	134	139	158	155	149	0,4	92	92
Total non énergétique Not energy total	11	12	12	17	12	13	0,2	8	8
<b>Total</b>	<b>143</b>	<b>146</b>	<b>152</b>	<b>175</b>	<b>167</b>	<b>162</b>	<b>0,4</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Source : Bilan énergétique de l'année 2015 en France, Observatoire de l'énergie

## France : deux scénarios retenus dans le cadre du DNTE (Débat national sur la transition énergétique)

France: two retained scenarios in the DNTE context (National debate on energetic transition)

DIV *	2010 %	2030 %	2050 %
Pétrole Oil	42,1	26,5	16,3
Gaz naturel Natural gas	20,8	20,6	13,6
Charbon Coal	3,7	2,4	0,9
Electricité Electricity	24,5	28,4	26,7
Renouvelables et autres Renewable and others	8,9	22,1	42,4
<b>Total énergétique</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
EFF **	2010 %	2030 %	2050 %
Pétrole Oil	42,1	34,2	7,2
Gaz naturel Natural gas	20,8	19,3	14,5
Charbon Coal	3,7	4,1	4,9
Electricité Electricity	24,5	26,3	40,0
Renouvelables et autres Renewable and others	8,9	16,0	33,4
<b>Total énergétique</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

\* DIV : diversification des vecteurs énergétiques avec cogénération (valeurs réajustées) - diversification of energetic vectors with cogeneration (adjusted values)

\*\* EFF : efficacité énergétique et développement de l'offre renouvelable - energetic efficiency and renewable supply development

Source : Ancre

Source : Ademe

## France : bilans électriques

France: electricity balances

TWh	Consommation Consumption		Echanges avec l'étranger (3) Balance (3)	Production intérieure Inland Production						Autres renouv. Other renewables	Total
	Inté- rieure (1) Inland (1)	Nette (2) Net (2)		Thermique classique Conventional Thermal	Hydrau- lique Hydro	Nucléaire Nuclear	Eolien Wind	Photo- voltaïque Photo- voltaic			
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	4,0		3,9	545	
2008	495	461	-47	53	68	418	5,6		4,0	549	
2009	486	453	-25	55	62	390	7,8		4,4	519	
2010	513	476	-30	59	68	408	9,6	0,6	4,8	550	
2011	478	443	-57	51	50	421	11,9	1,8	5,6	542	
2012	489	453	-45	48	64	405	14,9	3,9	5,9	541	
2013	495	460	-47	45	75	404	15,9	4,6	6,3	551	
2014	465	455	-65	27	68	416	17,0	5,9	6,6	541	
2015	475	465	-62	34	59	417	21,1	7,4	7,9	546	

(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 (Bilan électrique 2015)

## France : bilan de l'énergie en 2015

France: energy balance for 2015

Mtep Mtoe	Charbon Coal		Pétrole Oil		Gaz Gas		Electricité Electricity		ENR th et déchets RF and waste (3)	Total (4)
	Houille Lignite (1) Hard coal, lignite (1)	Coke, agglomérés Coke, briquettes	Brut Crude	Raffiné Refined	Naturel Natural	Industriels Industrial	Production brute (2) Gross production	Consommation Consumption		
2015										
<b>Approvisionnement Supply</b>										
<b>Total disponibilités Total availability</b>	<b>8,38</b>		<b>58,12</b>	<b>18,47</b>	<b>34,87</b>		<b>116,18</b>		<b>17,4</b>	<b>253,43</b>
Production énergie primaire Primary energy production			0,84	0,35	0,03		H: 7,69 N: 114,0		16,97	139,87
Importations Imports	7,72	0,66	57,44	41,19	39,25		0,86		0,61	147,73
Exportations Exports	-0,09	-0,02	-0,04	-21,58	-4,84		-6,37		-0,18	-33,11
Stocks (5)	0,23	-0,13	-0,11	0,13	0,43					0,55
Soutes maritimes internationales International marine bunkers			-1,61							-1,61
<b>Emplois Employment</b>										
<b>Consommation branche énergie (A) Energy branch consumption (A)</b>	<b>5,29</b>	<b>-2,23</b>	<b>58,12</b>	<b>-54,07</b>	<b>5,04</b>	<b>0,43</b>	<b>-3,55</b>	<b>82,89</b>	<b>2,57</b>	<b>94,49</b>
Raffinage Refining			57,67	-55,78	0,57		-0,07	0,24		2,63
Production d'électricité thermique Thermal electricity production	2,18			0,55	3,07	0,65	-3,48		2,29	5,26
Usages internes Internal uses	3,17	-2,28			0,46	-0,23		3,11	0,27	4,51
Pertes et ajustements Losses and adjustments	-0,06	0,05	0,45	1,17	0,94	0,01		79,54	0,00	82,09
<b>Consommation finale énergétique (corrigée du climat) (B) Final energy consumption (corrected for climate) (B)</b>	<b>2,6</b>	<b>2,61</b>		<b>60,78</b>	<b>30,91</b>	<b>-0,43</b>		<b>37,23</b>	<b>15,51</b>	<b>149,22</b>
Sidérurgie Steel industry	1,5	2,31		0,03	0,54	-0,43		0,89		4,84

(1) Ainsi que Produits de récupération also recovered products

(2) Dont : - hydraulique, éolien et photovoltaïque: 7,69 Mtep including: - hydro, wind and solar: 7,69 Mtoe  
- nucléaire 114,0 Mtep - nuclear 114,0 Mtoe

(3) ENR thermiques : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique...) et pompes à chaleur - Renewable fuels: renewable thermal energies (wood, wood waste, thermal solar) and heat pump

(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 : Bilan énergétique de la France pour 2015, Observatoire de l'énergie



## France : bilan de l'énergie en 2015 (suite)

France: energy balance for 2015

Mtep Mtoe	Charbon Coal		Pétrole Oil		Gaz Gas		Electricité Electricity		ENR th et déchets RF and waste (3)	Total (4)
	Houille Lignite (1) Hard coal, lignite (1)	Coke, agglomérés Coke, briquettes	Brut Crude	Raffiné Refined	Naturel Natural	Industriels Industrial	Production brute (2) Gross production	Consom- mation Consump- tion		
2015										
Industries Industries	0,8	0,28		2,09	9,61			9,09	1,7	23,56
Résidentiel Residential	0,18	0,03		6,7	15,06			13,3	9,73	45
Tertiaire Tertiary	0,12			3,22	5,32			12,38	0,93	21,97
Agriculture				3,32	0,29			0,7	0,15	4,45
Transports (6)				45,42	0,1			0,88	3	49,39
<b>Consommation finale non-énergétique (C) (corrigée du climat) Final non-energy consumption (C) (corrected for climate)</b>		<b>0,13</b>		<b>12,35</b>	<b>0,55</b>					<b>13,02</b>
<b>Consommation totale d'énergie primaire (corrigée du climat) (A+B+C) Total primary energy consumption (corrected for climate) (A+B+C)</b>		<b>8,41</b>		<b>77,18</b>	<b>36,49</b>			<b>116,58</b>	<b>18,08</b>	<b>256,73</b>

(1) Ainsi que Produits de récupération also recovered products

(2) Dont : - hydraulique, éolien et photovoltaïque: 7,69 Mtep including: - hydro, wind and solar: 7,69 Mtoe  
- nucléaire 114,0 Mtep - nuclear 114,0 Mtoe

(3) ENR thermiques : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique...) et pompes à chaleur - Renewable fuels: renewable thermal energies (wood, wood waste, thermal solar) and heat pump

(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 : Bilan énergétique de la France pour 2015, Observatoire de l'énergie

## PRODUCTION

### Monde : capacités électriques installées en 2013

World: 2013 electricity installed capacities

(GW) 2013	Thermique conventionnel Conventional thermal	Hydraulique Hydroelectric	Nucléaire Nuclear	Renouvelables et déchets (hors hydraulique) Renewable and waste (excepting hydro)	Total
Amérique OCDE <sup>(1)</sup> North America <sup>(1)</sup>	929	195	120	111	1 355
dont Etats-Unis of which United States	832	102	105	95	1 134
Amérique Latine Latin America	102	146	3	19	270
dont Brésil of which Brazil	23	86	2	15	126
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	485	206	129	239	1 059
dont UE 28 of which EU 28	459	150	129	238	976
Europe de l'Est / Eurasie <sup>(3)</sup> Eastern Europ / Eurasia <sup>(3)</sup>	290	95	43	9	437
Moyen-Orient Middle East	252	16	1	0	269
Afrique Africa	146	27	2	3	178
Asie non OCDE Non OECD Asia	1 297	382	29	147	1 855
dont Chine of which China	885	280	17	104	1 286
dont Inde of which India	183	43	6	31	263
OCDE Asie Océanie <sup>(4)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(4)</sup>	291	69	66	34	460
<b>Total Monde</b> <b>World Total</b>	<b>3 792</b>	<b>1 136</b>	<b>392</b>	<b>564</b>	<b>5 884</b>

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

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

(3) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie - Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgystan, Lettonie, Lituanie, Malte, Rép. de Moldavie, Roumanie, Rép. de Macédoine, Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine, Ouzbékistan - Albania, Armenia, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnia - Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgystan, Latvia, Lithuania, FYR of Macedonia, Malta, Republic of Moldova, Romania, Russia, Serbia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan

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

Source : WEO 2015

## Production d'électricité d'origine nucléaire par pays fin 2015

Electricity generation from nuclear power plants by country at the end of 2015

Pays Country	Production électrique totale (TWh nets) Net total generation	Production électrique nucléaire (TWh nets) Net nuclear generation	Part du nucléaire <sup>(1)</sup> dans la production % Nuclear share <sup>(1)</sup>
<b>Pays nucléaires</b>	<b>13 863,71</b>		
Afrique du Sud <i>South Africa</i>	234,04	11	4,7
Allemagne <i>Germany</i>	615,60	86,8	14,1
Argentine <i>Argentina</i>	135,42	6,5	4,8
Arménie <i>Armenia</i>	7,54	2,6	34,5
Belgique <i>Belgium</i>	66,13	24,8	37,5
Brésil <i>Brazil</i>	496,43	13,9	2,8
Bulgarie <i>Bulgaria</i>	46,96	14,7	31,3
Canada	575,90	95,6	16,6
Chine <i>China</i>	5 373,33	161,2	3
Corée du Sud <i>South Korea</i>	495,90	157,2	31,7
Espagne <i>Spain</i>	269,95	54,8	20,3
Etats-Unis <i>USA</i>	145,84	82,4	56,5
Finlande <i>Finland</i>	66,17	22,3	33,7
<b>France</b>	<b>549,15</b>	<b>419</b>	<b>76,3</b>
Hongrie <i>Hungary</i>	28,46	15	52,7
Inde <i>India</i>	988,57	34,6	3,5
Iran	246,15	3,2	1,3
Japon <i>Japan</i>	860,00	4,3	0,5
Mexique <i>Mexico</i>	164,71	11,2	6,8
Pakistan	97,73	4,3	4,4
Pays-Bas <i>Netherlands</i>	105,41	3,9	3,7
Rép.tchèque <i>Czech Republic</i>	77,85	25,3	32,5
Roumanie <i>Romania</i>	61,85	10,7	17,3
Royaume-Uni <i>United Kingdom</i>	353,79	64	18,09
Russie <i>Russia</i>	982,80	182,8	18,6
Slovaquie <i>Slovakia</i>	25,22	14,1	55,9
Slovénie <i>Slovenia</i>	14,21	5,4	38
Suède <i>Sweden</i>	158,89	54,5	34,3
Suisse <i>Switzerland</i>	66,27	22,2	33,5
Taiwan (Chine / <i>China</i> )	215,34	35,1	16,3
Ukraine <i>Ukraine</i>	338,10	63,9	18,9
<b>Pays non nucléaires</b>	<b>10 039,29</b>	-	-
<b>Total</b>	<b>23 903 <sup>(2)</sup></b>	<b>1 707,3</b>	<b>7,14</b>

(1) Part du nucléaire dans la production totale - *Share of nuclear electricity in total electricity generation*

(2) Source: IEA World Statistics

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

## Monde : production d'électricité par source en 2014

World: electricity generation by fuel for 2014

%	Charbon Coal	Pétrole Oil	Gaz naturel Natural gas	Nucléaire Nuclear	Hydraulique Hydro	Autres Others	Total
<b>Amérique OCDE</b> <sup>(1)</sup> <b>OECD America</b> <sup>(1)</sup>	34,3	1,6	26,3	17,7	13,2	6,9	100
dont Etats-Unis of which USA	39,7	0,9	26,9	19,2	6,1	7,3	100
<b>Amérique non OCDE</b> <b>Non OECD America</b>	4	13,3	19,0	1,7	55,7	6,7	100
dont Brésil of which Brazil	4,5	6,0	13,7	2,6	63,2	9,9	100
<b>Europe OCDE</b> <sup>(2)</sup> <b>OECD Europe</b> <sup>(2)</sup>	25,0	1,5	16,2	25,0	16,2	16,0	100
Union européenne 28 <b>European Union 28</b>	26,6	1,8	14,5	27,7	11,9	17,5	100
dont France of which France	2,2	0,3	2,3	78,4	11,3	5,6	100
<b>Non OCDE Europe et Eurasie</b> <sup>(3)</sup> <b>Non OECD Europe and Eurasia</b> <sup>(3)</sup>	22,4	1,2	40,7	17,1	17,4	1,2	100
<b>Moyen-Orient</b> <b>Middle East</b>	0,1	35,5	61,9	0,5	2,0	0	100
<b>Afrique</b> Africa	33,9	9,4	37,0	1,8	16,1	1,7	100
<b>Asie</b> <sup>(4)</sup> Asia <sup>(4)</sup>	53,3	5,0	22,1	3,2	12,2	4,2	100
dont Inde of which India	75,1	1,8	4,9	2,8	10,2	5,2	100
<b>Chine</b> China	72,7	0,2	2,2	2,3	18,4	4,3	100
<b>Asie Océanie OCDE</b> <sup>(5)</sup> <b>OECD Asia Oceania</b> <sup>(5)</sup>	39,5	7,2	33,2	8,1	6,6	5,4	100
<b>Total Monde</b> <b>World Total</b>	41	4,3	21,6	10,7	16,4	6,3	100
dont OCDE which OECD	32,3	2,6	24,3	18,4	13,0	9,6	100

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

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

(3) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirghizstan, Lettonie, Lituanie, Malte, République de Moldavie, Roumanie, République de Macédoine, Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine, Ouzbékistan - Albania, Armenia, Azerbaijan, Belarus, Bosnia - Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lithuania, FYR of Macedonia, Malta, Republic of Moldova, Romania, Russia, Serbia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan

(4) Hors Chine - Without China

(5) Australie, Israël, Japon, Corée et Nouvelle Zélande - Australia, Israël, Japan, Korea & New Zealand

Source : Bilans Energétiques Monde, AIE, éd 2016 - World Energy Balances, IEA, 2016 ed

## Monde : production d'électricité

### World: electricity generation

TWh	1990	2000	2010	2014	%/an 1990-2014 %/year
<b>Amérique OCDE</b> <sup>(1)</sup> <i>OECD America</i> <sup>(1)</sup>	3 819	4 877	5 286	5 350	1
dont Etats-Unis of which USA	3 203	4 026	4 354	4 319	1
<b>Amérique non OCDE</b> <i>Non OECD America</i>	489	763	1 069	1 217	4
dont Brésil of which Brazil	223	349	516	591	4
<b>Europe OCDE</b> <sup>(2)</sup> <i>OECD Europe</i> <sup>(2)</sup>	2 662	3 223	3 612	3 500	1
Union européenne 28 European Union 28	2 577	3 006	3 335	3 159	1
dont France of which France	417	535	564	557	1
<b>Europe non OCDE et Eurasie</b> <sup>(3)</sup> <i>Non OECD Europe and Eurasia</i> <sup>(3)</sup>	1 894	1 432	1 700	1 749	0
<b>Moyen-Orient</b> <i>Middle East</i>	224	430	833	990	6
<b>Afrique</b> <i>Africa</i>	316	442	671	762	4
<b>Asie</b> <i>Asia</i>	1 274	2 636	6 329	8 314	8
dont : of which:					
Chine <i>China</i>	650	1 387	4 236	5 706	9
Inde <i>India</i>	293	570	979	1 287	6
<b>Asie Océanie OCDE</b> <sup>(4)</sup> <i>OECD Asia Oceania</i> <sup>(4)</sup>	1 185	1 668	1 992	1 934	2
<b>Total Monde</b> <i>World total</i>	<b>11 864</b>	<b>15 471</b>	<b>21 493</b>	<b>23 816</b>	<b>3</b>
dont OCDE of which OECD	7 666	9 768	10 891	10 784	1

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

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

(3) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie - Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgizstan, Lettonie, Lituanie, Malte, République de Moldavie, Roumanie, République de Macédoine, Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine, Ouzbékistan - Albania, Armenia, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnia - Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgizstan, Latvia, Lithuania, FYR of Macedonia, Malta, Republic of Moldova, Romania, Russia, Serbia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan

(4) Australie, Israël, Japon, Corée et Nouvelle Zélande - Australia, Israël, Japan, Korea & New Zealand  
Source : Bilans Energétiques Monde, AIE, éd 2016 - World Energy Balances, IEA, 2016 ed.

## Monde : scénario de référence\* pour la production d'électricité

World: reference scenario\* for electricity generation

	1990		2013		2020		2030		2040	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%	TWh	%	TWh	%
Amérique OCDE <sup>(1)</sup> OECD America <sup>(1)</sup>	3 819	32	5 304	23	5 570	20	5 888	18	6 418	16
Amérique latine Latin America	489	4	1 183	5	1 382	5	1 770	5	2 202	6
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	2 682	23	3 614	15	3 716	14	3 889	12	4 042	10
UE 28 EU 28	2 576	22	3 225	14	3 266	12	3 352	10	3 408	9
Europe de l'Est/Eurasie <sup>(3)</sup> East Europe/Eurasia <sup>(3)</sup>	1 894	16	1 740	7	1 830	7	2 051	6	2 298	6
Moyen-Orient Middle East	224	2	952	4	1 236	5	1 627	5	1 972	5
Afrique Africa	316	3	751	3	965	4	1 411	4	2 134	5
Asie non OCDE Non OECD Asia	1 274	11	7 906	34	10 547	39	14 441	43	18 132	46
dont Inde of which India	293	2	1 193	5	1 766	6	2 848	9	4 124	10
dont Chine of which China	650	5	5 462	23	7 093	26	9 146	28	10 626	27
OCDE Asie Océanie <sup>(4)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(4)</sup>	1 127	10	1 868	8	1 975	7	2 138	6	2 247	6
<b>Monde World</b>	<b>11 825</b>	<b>100</b>	<b>23 318</b>	<b>100</b>	<b>27 221</b>	<b>100</b>	<b>33 215</b>	<b>100</b>	<b>39 445</b>	<b>100</b>
dont OCDE of which OECD	7 629	65	10 786	46	11 262	41	11 914	36	12 706	32
dont of which										
Charbon Coal	4 424	37	9 612	41	10 171	37	10 867	33	11 868	30
Pétrole Oil	1 311	11	1 044	4	836	3	613	2	533	1
Gaz Gas	1 760	15	5 079	22	5 798	21	7 385	22	9 008	23
Nucléaire Nuclear	2 013	17	2 478	11	3 186	12	3 998	12	4 606	12
Hydraulique Hydro	2 145	18	3 789	16	4 456	16	5 425	16	6 180	16
Biomasse et déchets Biomass & Wast	132	1	464	2	728	3	1 074	3	1 454	4
Eolien Wind	4	0,0	635	3	1 407	5	2 535	8	3 568	9
Géothermique Geothermal	36	0,3	72	0,3	116	0,4	229	1	392	1
Solaire PV Solar PV	0	0,0	139	0,6	494	2	976	3	1 521	4
Solaire thermodynamique CSP	1	0,0	5	0,0	27	0,1	96	0,3	262	1
Marine Marine	1	0,0	1	0,0	3	0,0	16	0,0	51	0

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

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

(3) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie - Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgizstan, Lettonie, Lituanie, Malte, Rép. de Moldavie, Roumanie, Rép. de Macédoine, Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine, Ouzbékistan - Albania, Armenia, Azerbaijan, Belarus, Bosnia - Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lithuania, FYR of Macedonia, Malta, Republic of Moldova, Romania, Russia, Serbia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan

(4) Australie, Israël, Japon, Corée et Nouvelle Zélande - Australia, Israel, Japan, Korea & New Zealand

\* Seule prise en compte des politiques déjà adoptées et mises en place

\* Only taking into account policies already formally adopted and implemented

Source : World Energy Outlook 2015, IEA

## Europe : évolution de la production électrique

Europe: evolution of electricity generation

TWh	1973	1980	1990	2000	2010	2014	%/an %/year 1973- 2014	%/an %/year 2000- 2014
Allemagne <i>Germany</i>	374	466	548	572	627	622	1,2	0,6
Autriche <i>Austria</i>	31	42	49	60	68	62	1,7	0,2
Belgique <i>Belgium</i>	41	53	70	83	94	71	1,4	-1,1
Bulgarie <i>Bulgaria</i>	22	35	42	41	46	47	1,9	1,0
Chypre <i>Cyprus</i>	0,8	1	2	3	5	4	4,0	1,2
Croatie <i>Croatia</i>			9	11	15	13		1,2
Danemark <i>Denmark</i>	19	27	26	36	39	32	1,3	-0,8
Espagne <i>Spain</i>	76	109	151	221	298	275	3,2	1,6
Estonie <i>Estonia</i>			17	9	13	12		2,5
Finlande <i>Finland</i>	26	41	54	70	81	68	2,4	-0,2
<b>France</b>	<b>183</b>	<b>257</b>	<b>417</b>	<b>535</b>	<b>564</b>	<b>557</b>	<b>2,8</b>	<b>0,3</b>
Grèce <i>Greece</i>	15	23	35	53	57	50	3,0	-0,4
Hongrie <i>Hungary</i>	18	24	28	35	37	29	1,2	-1,4
Irlande <i>Ireland</i>	7	11	14	24	28	26	3,1	0,7
Italie <i>Italy</i>	144	183	213	270	299	278	1,6	0,2
Lettonie <i>Latvia</i>			7	4	7	5		1,4
Lituanie <i>Lithuania</i>			28	11	5	4		-7,0
Luxembourg	1	1	1	0,4	3	2	0,9	11,8
Malte <i>Malta</i>	0,4	1	1	2	2	2	4,2	1,0
Pays-Bas <i>Netherlands</i>	53	65	72	90	119	103	1,7	1,0
Pologne <i>Poland</i>	84	121	134	143	157	158	1,6	0,7
Portugal	10	15	28	43	54	52	4,2	1,3
Rép. Slovaque <i>Slovak Republic</i>	12	20	25	31	27	27	1,9	-0,9
Rép. Tchèque <i>Czech Republic</i>	41	53	62	73	85	86	1,8	1,2
Roumanie <i>Romania</i>	47	67	64	52	61	65	0,8	1,6
Royaume-Uni <i>United Kingdom</i>	281	284	318	374	379	336	0,4	-0,8
Slovénie <i>Slovenia</i>			12	14	16	17		1,6
Suède <i>Sweden</i>	78	96	146	145	148	154	1,7	0,4
<b>UE 28 EU 28</b>	<b>1 564</b>	<b>1 994</b>	<b>2 577</b>	<b>3 006</b>	<b>3 335</b>	<b>3 159</b>	<b>1,7</b>	<b>0,4</b>

Source : Bilans Energétiques Monde, AIE, éd 2016 - *World Energy Balances, IEA, 2016 ed*

## Europe : part de l'énergie produite à partir de sources renouvelables dans la consommation brute d'énergie finale en 2014 et objectifs 2020

Europe: share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy in 2014 and national overall targets in 2020

	2014 *	2020
Allemagne <i>Germany</i>	13,8 %	18 %
Autriche <i>Austria</i>	32,6 %	34 %
Belgique <i>Belgium</i>	7,9 %	13 %
Bulgarie <i>Bulgaria</i>	18,0 %	16 %
Chypre <i>Cyprus</i>	8,0 %	13 %
Danemark <i>Denmark</i>	29,4 %	30 %
Espagne <i>Spain</i>	15,7 %	20 %
Estonie <i>Estonia</i>	26,3 %	25 %
Finlande <i>Finland</i>	38,4 %	38 %
<b>France **</b>	<b>14,4 %</b>	<b>23 %</b>
Grèce <i>Greece</i>	15,0 %	18 %
Hongrie <i>Hungary</i>	10,3 %	13 %
Irlande <i>Ireland</i>	8,4 %	16 %
Italie <i>Italy</i>	17,1 %	17 %
Lettonie <i>Latvia</i>	36,5 %	40 %
Lituanie <i>Lithuania</i>	23,8 %	23 %
Luxembourg	4,7 %	11 %
Malte <i>Malta</i>	5,1 %	10 %
Pays-Bas <i>Netherlands</i>	5,4 %	14 %
Pologne <i>Poland</i>	11,4 %	15 %
Portugal	26,2 %	31 %
Rep. Tchèque <i>Czech Republic</i>	13,4 %	13 %
Rep. Slovaque <i>Slovak Republic</i>	11,7 %	14 %
Roumanie <i>Romania</i>	24,5 %	24 %
Royaume-Uni <i>United Kingdom</i>	7,0 %	15 %
Slovénie <i>Slovenia</i>	22,3 %	25 %
Suède <i>Sweden</i>	53,5 %	49 %
<b>Union européenne 28 <i>European Union 28</i></b>	<b>15,9 %</b>	<b>20 %</b>

\* Estimation

\*\* Territoires d'Outre-Mer exclus de l'estimation, inclus dans l'objectif 2020 - *Overseas territories excluded for estimation, included for 2020 objective*

Source : *EurObserver 2015*



## France : production primaire d'énergies renouvelables\*

France: renewable primary energy production\*

2015	%
Bois énergie Wood for energy	40
Hydraulique renouvelable Renewable Hydroelectricity	20
Biocarburants Biofuels	11
Eolien Wind	8
Pompes à chaleur Heat pump	8
Déchets renouvelables Renewable waste	5
Solaire PV Solar PV	3
Biogaz Biogas	2
Géothermie Geothermal energy	0,9
Résidus de l'agriculture et des industries agro-alimentaires Agriculture and food industry waste	1
Solaire thermique Thermal solar	0,4
Energies marines Sea energy	0,2
<b>Total en Mtep Total in Mtoe</b>	<b>23,0</b>

\* Métropole Mother country

Source : SOeS

## France : bilan électrique

France: electricity balance

	2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015	
	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%
<b>Production nette</b> <b>Net Production</b>	<b>519</b>	<b>100</b>	<b>550</b>	<b>100</b>	<b>543</b>	<b>100</b>	<b>541</b>	<b>100</b>	<b>551</b>	<b>100</b>	<b>541</b>	<b>100</b>	<b>546</b>	<b>100</b>
Thermique nucléaire Nuclear	390,0	75,1	407,9	74,1	421,1	77,6	404,9	74,8	403,7	73,3	415,9	76,9	416,8	76,3
Thermique classique Conventional thermal	54,8	10,6	59,4	10,8	51,5	9,5	47,9	8,8	44,7	8,1	27,0	5,0	34,1	6,2
Hydraulique Hydro	61,8	11,9	68	12,4	50,3	9,3	63,8	11,8	75,7	13,7	68,2	12,6	58,7	10,8
Eolien Wind	7,8	1,5	9,6	1,7	12,1	2,2	14,9	2,8	15,9	2,9	17,0	3,1	21,1	3,9
Solaire of which solar	nd		nd		2,4	0,4	4	0,7	4,6	0,8	5,9	1,1	7,4	1,4
Bioénergies Bioenergy	nd		nd		nd		nd		nd		nd		7,9	1,4
<b>Consommation intérieure</b> <b>Gross Inland Consumption</b>	<b>486</b>		<b>513</b>		<b>478</b>		<b>490</b>		<b>495,0</b>		<b>465,2</b>		<b>476,1</b>	
Pertes Losses	33,6	6,9	37	7,2	35	7,3	36	7,4	38,0	6,9	34,3	6,3	35,7	6,6
Consommation nette Net consumption	452,8	93,1	476,1	92,8	443,3	92,7	453,1	92,5	457,0	83,0	430,4	79,6	440,3	81,4
<b>Pompage</b> <b>Pumping storage</b>	<b>7</b>		<b>7</b>		<b>7</b>		<b>7</b>		<b>7</b>	<b>1,3</b>	<b>8</b>	<b>1,5</b>	<b>7</b>	<b>1,3</b>
<b>Solde Import-Export</b> <b>Import-Export balance</b>	<b>26</b>		<b>31</b>		<b>57</b>		<b>45</b>		<b>48</b>	<b>8,7</b>	<b>67</b>	<b>12,4</b>	<b>64</b>	<b>11,8</b>

Source : Energie Electrique, RTE, éd 2016

## France : échanges contractuels transfrontaliers d'électricité en 2015

France: cross-border contractual electricity exchanges in 2015

TWh	Exportations	Importations	Solde exportateur
CWE*	20,1	13,4	6,7
Espagne <i>Spain</i>	9,3	2,0	7,3
Grande Bretagne <i>United Kingdom</i>	15,9	1,8	14,1
Italie <i>Italy</i>	20,1	0,4	19,7
Suisse <i>Switzerland</i>	25,9	12,0	13,9
<b>Total France</b>	<b>91,3</b>	<b>29,6</b>	<b>61,7</b>

\* Central West Europe (France, Belgique, Allemagne, Luxembourg et Pays-Bas).

\* Central West Europe (France, Belgium, Germany, Luxembourg and Netherlands)

Source : Bilan électrique français 2015, RTE Ed 2016

## 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
2010	jeudi 11 février	Thursday February 11	93,1 GWe
2011	mardi 4 janvier	Tuesday January 4	91,8 GWe
2012	mercredi 8 février	Wednesday February 8	102,1 GWe
2013	jeudi 17 janvier	Thursday January 17	92,6 GWe
2014	mardi 9 décembre	Tuesday December 9	82,5 GWe
2015	vendredi 6 février	Friday February 6	91,6 GWe

Source : Bilan électrique 2015, RTE ed. 2016



**ENERGIE ELECTRIQUE  
ET ELECTRONUCLEAIRE**

**ELECTRICITY AND NUCLEAR POWER**

## Principales caractéristiques des filières électronucléaires

### Main characteristics of reactor types

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

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

Source : CEA - Elecnuc

## GESTION DU COMBUSTIBLE

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

France : caractéristiques des REP <sup>(1)</sup> 900, 1300 et 1450 MWe

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

Principales caractéristiques Main characteristics	REP 900 MWe PWR 900	REP 1300 MWe PWR 1300	REP 1450 MWe PWR 1450		
Puissance électrique nette (MWe) Net electric capacity (Mwe)	880 à 915	1 300 à 1 335	1 455		
Puissance thermique (MWth) Thermal power (MWth)	2 775	3 800	4 250		
Rendement (%) Efficiency (%)	31,7 à 33,0	34,2 à 35,1	34,2		
Nombre d'assemblages de combustible Number of fuel Assemblies	157	193	205		
Nombre de crayons par assemblage Number of rods per assembly	264	264	264		
Poids d'uranium par assemblage (kg) Weight of uranium per assembly (kg)	461,7	538,5	538,5		
<b>Première charge Initial Loading</b>					
Masse d'uranium enrichi (tonnes) Weight of enriched uranium (t)	72,5	104	110,5		
Enrichissement initial moyen (%) Average initial enrichment (%)	2,43	2,28	2,29		
Besoin en uranium naturel (tonnes) <sup>(6)</sup> Natural uranium requirements (t) <sup>(6)</sup>	316	423	449		
Besoin en enrichissement (milliers d'UTS) Enrichment requirements (10 <sup>3</sup> SWU)	225	294	312		
<b>Recharge à l'équilibre Equilibrium reload</b>	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Nombre d'assemblage par recharge Number of assemblies per reload	40	28 (+16)	64	64	69
Masse de métal lourd (tonnes) 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> 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> Enrichment requirements (10 <sup>3</sup> SWU) <sup>(7)</sup>	87	61 (+0) <sup>(8)</sup>	124	182	154
Irradiation moyenne (MWj/t) Burn-up (MWd/t)	41 200	(33 800)	32 100	43 500	39 000
Séjour en réacteur (mois) Fuel residence time (months)	48	48 (38)	38	54	36

(1) Rechargement par quart de cœur (annuel) Reload by 1/4 core

(2) Rechargement (MOX) par tiers de cœur (annuel) Reload by 1/3 core (MOX)

(3) Rechargement par tiers de cœur (annuel) Reload by 1/3 core

(4) Rechargement par tiers de cœur (allongé à 18 mois) Reload by 1/3 core (18 months)

(5) Prévisionnel par tiers de cœur, susceptible de modification Reload by 1/3 (forecast)

(6) Pour un taux de rejet de 0,25 % Assuming 0,25% tails assay and no losses

(7) Pour un taux de rejet de 0,3 % Assuming 0,3% tails assay and no losses

(8) MOX fabriqué avec de l'U appauvri MOX manufactured from depleted U

Source : CEA

## Parc électronucléaire français au 01/01/2016

58 unités installées représentant 63 GWe

Nuclear power plants in France - Status as of 2016/01/01

Regroupement par filière Reactor type	Nom des unités Name of the unit	Puissance - MWe nets Net capacity MWe operation	Année de MSI Year of commercial
58 unités REP 58 PWR units 62,9 GWe nets 62,9 net GWe  34 REP-900 34 PWR-900 30 660 MWe  20 REP-1300 20 PWR-1300 26 370 MWe	<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
	<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	
<i>Gravelines-6</i>	915	1985	
Paluel-3	1 330	1986	
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	

Source : AIEA

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

Source : AIEA

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

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

	2014	2015	2020 <sup>(1)</sup>
Puissance électronucléaire nette installée (GWe) <i>Installed nuclear capacity</i>	63,2	63,2	61 - 63,2
Production nette d'électricité nucléaire (TWh) <i>Nuclear electricity generation</i>	416	417	430-435
Besoins en uranium naturel (tU/an) <i>Natural Uranium requirements</i>	8 000	8 000	8 000-9 000
Besoins en services d'enrichissement (10 <sup>3</sup> UTS/an) <i>Enrichment requirements</i>	6 000	6 500	6 500
Besoins en fabrication <i>Manufacturing requirements</i>			
• de combustible REP U <sub>235</sub> (t ML/an) • U <sub>235</sub> PWR fuel manufacturing requirements (t HM/year)	1 050	1 050	1 050
• de combustible MOX pour REP (t ML/an) • MOX fuel for PWR (t HM/year)	120	120	120
Quantités de combustible irradié produites (t ML/an) <i>PWR spent fuel arisings</i> (t HM/year)	1 150	1 150	1 150

(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 2016



## Principales caractéristiques d'un réacteur à neutrons rapides

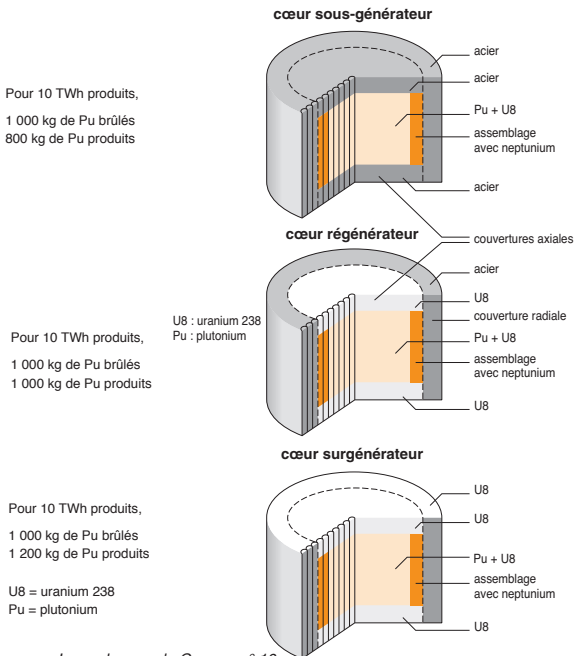
Les réacteurs à neutrons rapides (RNR) ont été développés pour leur capacité à transformer l'uranium 238, non fissile, qui constitue plus de 99 % de l'uranium naturel, en plutonium fissile.

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

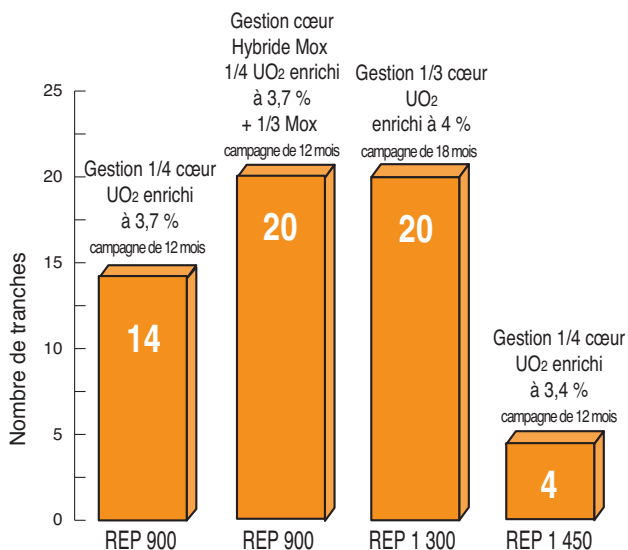


Source : « Les colonnes de Creys » n° 10

## CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE

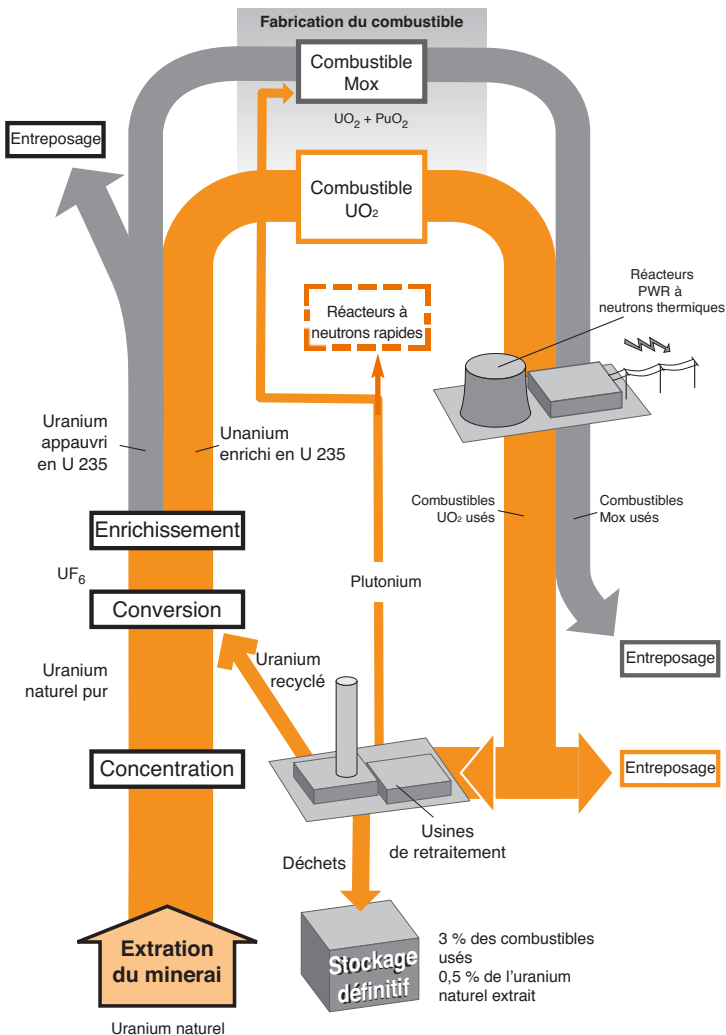
L'uranium naturel extrait du minerai est constitué de 99,3 % d'uranium 238, inerte, et de 0,7 % d'uranium 235, seul susceptible de produire de l'énergie par fission. L'enrichissement permet d'obtenir un combustible  $UO_2$  (oxyde d'uranium) dont la teneur en isotope 235 est portée à environ 3,5 %. Pendant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

	2013	2015	2020	2030	2035
Tonnes U	59 270	de 62 755 à 69 075	de 66 200 à 78 355	de 77 815 à 117 990	de 72 205 à 122 110

Source : Uranium 2014. Resources, Production and Demand. AEN ed. 2014

## 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 (kUTS/an)

### World: Uranium enrichment capacity

Pays	Sociétés	2013	2015	2020
France	Areva, Georges Besse I & II	5 500	7 000	8 200
Allemagne + Pays-Bas + Royaume Uni	Urenco: Gronau, Almelo, Capenhurst	14 200	14 200	15 700
Japon	JNFL, Rokkaasho	75	1 050	1 500
USA	USEC, Paducah & Piketon	0	0	3 800
USA	Urenco, New Mexico	3 500	5 700	5 700
USA	Areva, Idaho Falls	0	0	3 300 ?
	Global Laser Enrichment	0	0	3 000 ?
Russie	Tenex: Angarsk, Novouralsk, Zelenogorsk, Seversk	26 000	30 000	37 000
Chine	CNNC, Hanzhun & Lanzhou	2 200	3 000	8 000
Autres		75	500	1 000 ?
<b>Total</b>		<b>51 550</b>	<b>61 450</b>	<b>87 200</b>
	<b>Besoins (scénario de référence WNA)</b>	49 154	51 425	59 939

Source : WNA 2015

## 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 2013	Besoins		
		2013	2015	2020
BWR	1 100	336	254 <sup>(1)</sup>	274 <sup>(1)</sup>
FBR MOX	0	0	0 <sup>(1)</sup>	5 <sup>(1)</sup>
GCR (Magnox et AGR)	240	177	190	185
HWR	1 925	1 925	2 175	1 950
LWR	8 924	4 603	4 798	5 108
LWR MOX	195	120	120 <sup>(1)</sup>	120 <sup>(1)</sup>
<b>Total</b>	<b>12 384</b>	<b>7 161</b>	<b>7 537 <sup>(1)</sup></b>	<b>7 642 <sup>(1)</sup></b>

(1) Hors Japon - Except Japan

Source : Données sur l'énergie nucléaire, AEN éd. 2015

## Usines de traitement des combustibles usés

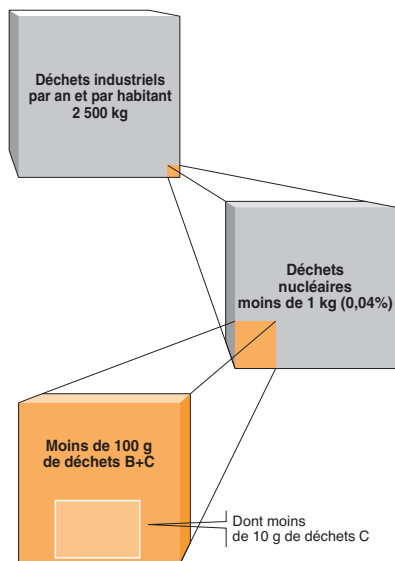
Used fuel reprocessing units

Type de combustible	Pays	Capacité tML/an
<b>LWR</b>	France, La Hague	1 700
	UK, Sellafield (THORP)	600
	Russie, Ozersk (Mayak)	400
	Japon (Rokkasho)	800*
	<b>Total LWR</b>	<b>3 500</b>
<b>Autres</b>	UK, Sellafield (Magnox)	1 500
	Inde (PHWR)	330
	Japon, Tokai MOX	40
	<b>Total Autres</b>	<b>1 870</b>
<b>Total</b>		<b>5 370</b>

\* Début d'exploitation prévue en 2016.

Source : WNA 2016

## Les déchets produits en France




Source : CEA

## Classification des déchets Waste classification

Les déchets radioactifs sont classés en fonction de :

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

L'Andra, l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, a défini quatre niveaux d'activité et trois périodes caractéristiques. Comme le montre le tableau suivant, un classement en six catégories permet la gestion de l'ensemble des déchets radioactifs.

<b>Très faible activité (TFA)</b>		<b>Déchets TFA</b> stockés en surface au Centre de stockage TFA de l'Aube	
<b>Faible activité (FA)</b>	<b>Déchets VTC</b> gérés sur place par décroissance radioactive. Ils sont ensuite gérés comme des déchets classiques.	<b>Déchets FMA-VC</b> Stockés en surface au Centre de stockage FMA de l'Aube qui a succédé au Centre de stockage de la Manche, aujourd'hui fermé et sous surveillance.	<b>Déchets FA-VL</b> Centre de stockage à faible profondeur (entre 15 et 200 m) à l'étude. Mise en service prévue en 2019.
<b>Moyenne activité (MA)</b>			<b>Déchets MA-VL</b> Centre de stockage profond (à 500 m) à l'étude. Mise en service prévue en 2025.
<b>Haute activité (HA)</b>		<b>Déchets HA</b> Centre de stockage profond (à 500 m) à l'étude. Mise en service prévue en 2025.	
	<b>Durée de vie</b> 		
	Vie très courte (VTC) période radioactive < 100 jours	Vie courte (VC) période radioactive ≤ 31 ans	Vie longue (VL) période radioactive > 31 ans

Les déchets à vie très courte (VTC) sont liés à la production et à l'usage de radioéléments pour les besoins de la santé, le simple entreposage pour décroissance radioactive permet de gérer ces déchets.

Les déchets de très faible activité (TFA) sont majoritairement issus du démantèlement d'installations nucléaires (béton, briques, gravats, ferrailles, ...), ils proviennent aussi de l'exploitation d'installations faiblement radioactives et d'activités industrielles concentrant la radioactivité naturelle.

Les déchets de faible et moyenne activité à vie courte (FMA-VC) sont principalement générés lors des opérations d'exploitation (hors combustible nucléaire lui-même) et de maintenance des centrales nucléaires, des usines de traitement ou des centres de recherche nucléaire (vêtements, gants, chiffons, papiers, filtres, outillages, joints...). On trouve également dans cette catégorie des déchets provenant de la médecine (seringues, flacons...), des laboratoires (flacons, objets contaminés...) et de l'industrie (sources scellées usagées...).

Les déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) sont entreposés en attente de la mise en place de la filière de stockage, ils comprennent :

- des déchets radifères contenant des éléments radioactifs naturels (uranium, thorium, radium...) issus du traitement de minerais par l'industrie chimique, et de travaux de réhabilitation de sites pollués anciens,
- des déchets graphite issus du démantèlement de la première génération de centrales nucléaires françaises (filière Uranium Naturel-Graphite-Gaz).

Les déchets de moyenne activité et à vie longue (MAVL) sont également entreposés avant la mise en place de la filière de stockage, ils comprennent :

- les gaines et éléments de structure des assemblages combustible après séparation de la matière nucléaire lors du traitement,
- les déchets technologiques (pinces et appareillages divers) issus de l'exploitation et de la maintenance des installations nucléaires et contaminés de façon significative par des éléments radioactifs de longue période.

Les déchets de haute activité à vie longue (HAVL) correspondent aux produits de fission et actinides mineurs qui ont été séparés des matières recyclables (uranium et plutonium) lors du traitement du combustible usé. Après vitrification, ces déchets sont entreposés pour décroissance thermique, ils seront ensuite stockés en couche géologique profonde (à ce jour, seuls les colis de verre de faible puissance thermique pourraient être mis en stockage).

A fin 2007, la répartition en volume et en activité des déchets produits en France est (source Andra) :

	% en volume	% en activité
TFA et FMA-VC	89,0	inférieur à 0,03 %
FA-VL	7,2	inférieur à 0,01 %
MA-VL	3,6	5
HA-VL	0,2	95

L'industrie électronucléaire actuelle génère environ 12 000 m<sup>3</sup>/an de déchets TFA&FMA-VC et 500 m<sup>3</sup>/an de déchets MA&HA-VL (dans l'inventaire actuel, les déchets FA-VL et une partie des déchets MA-VL résultent d'anciennes activités).

### La gestion des 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. Les exploitants améliorent continuellement leurs installations afin de réduire en volume et en activité ces déchets. En France, plusieurs milliers de personnes travaillent à leur gestion (tri, traitement, conditionnement, transport, entreposage ou stockage) selon des procédures et des méthodes codifiées et sous le contrôle des autorités publiques.

La gestion à long terme des déchets TFA & FMA-VC est assurée par leur stockage dans des sites géologiques adaptés existants. Pour les autres filières, la loi du 30 décembre 1991, dite « loi Bataille » du nom de son rapporteur à l'Assemblée Nationale, prescrivait 15 ans de recherche suivant 3 axes :

1. La séparation et à la transmutation des éléments radioactifs à vie longue,
2. Le stockage en couche géologique profonde,
3. L'entreposage de longue durée.

Le CEA a mis ses efforts en commun avec d'autres partenaires, et notamment l'Andra pour remettre au gouvernement, en juin 2005, les rapports finaux sur ces 15 années de recherche.

Au terme d'un débat public, une nouvelle loi de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs a été votée le 28 juin 2006. Elle :

- maintient les recherches dans le domaine de la séparation-transmutation afin d'en



évaluer les perspectives industrielles en 2012 et de mettre un prototype en exploitation avant fin 2020,

- demande de choisir un site et de concevoir un stockage réversible en couche géologique profonde pour une demande d'autorisation de construction en 2015 et une mise en service à l'horizon 2025,
- positionne l'entreposage comme un élément de complémentarité avec les axes précédents,
- prescrit la mise au point de solution de stockage pour les déchets radifères et graphite (FA-VL),
- institue le PNGMDR (Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs) qui doit être mis à jour tous les 3 ans et évalué par l'OPECST,
- reconduit la Commission nationale d'évaluation scientifique,
- définit les missions de l'Andra et le financement de son fonctionnement,
- prescrit l'évaluation par les exploitants des charges financières futures pour démantèlement et gestion des déchets et institue la Commission nationale d'évaluation financière.

### Principaux éléments contenus dans les combustibles usés

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

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

#### Actinides

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

**TOTAL 10,852 kg**

#### Uranium

**TOTAL 935,548 kg**

#### Produits de fission

##### Fission products

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

**TOTAL 35,6 kg**

Source : CNE

## Déchets ultimes issus du traitement du combustible d'un REP 1 000 MWe

### Ultimate waste from fuel reprocessing for a 1000 MWe PWR unit

Déchets conditionnés pour le stockage				
Déchets de procédé	Activité (GBq/an)		Matériaux d'incorporation ou d'enrobage	Volume (m <sup>3</sup> /an)
	Émetteurs $\beta, \gamma$	Émetteurs $\alpha$		
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 $\beta, \gamma$	580
Tritium	175 000
Émetteurs $\alpha$	0,7

Source : AREVA

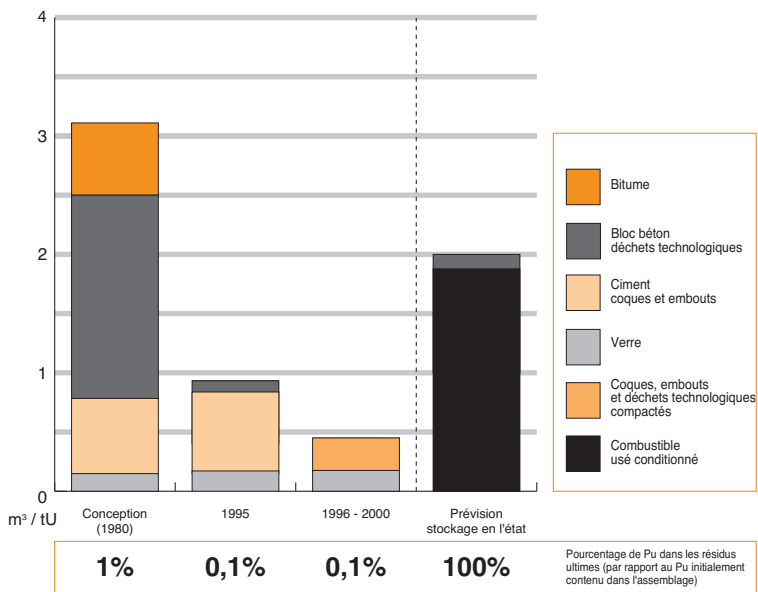
## Effluents et déchets produits en 1996 par les centrales nucléaires françaises

### Total amount of waste generated by the French nuclear power plants in 1996

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

Source : CEA d'après CEPN

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



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

## **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 (éléments artificiels).

**Radionucléide** : nucléide radioactif.

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

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

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

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

## Grandeurs et unités propres aux rayonnements ionisants

### Physical units for ionizing radiation

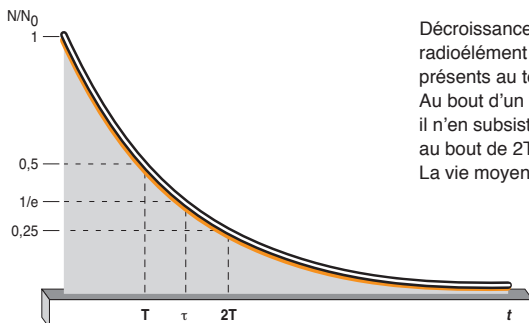
Grandeurs	Unités	Équivalences	Définitions
<b>ACTIVITÉ</b>	Becquerel (Bq)	1 Bq = 27 picocuries	Grandeur représentant le nombre de désintégrations par seconde au sein d'une matière radioactive
	Curie (Ci)	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq	
<b>DOSE ABSORBÉE</b>	Gray (Gy)	1 Gy = 1 joule/kg = 100 rad	Quantité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

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

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

## Décroissance de la radioactivité d'un radioélément, vie moyenne, période

### Radioactive decay, mean life, half life



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

## Périodes effectives de quelques corps radioactifs

### Effective half life for some radioelements

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

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

Pour chaque radioélément, par analogie avec la période physique, la période biologique est le temps nécessaire à l'organisme pour éliminer la moitié de la quantité initialement absorbée. La décroissance radioactive et l'élimination biologique concourent à faire décroître l'irradiation dans l'organisme. La **période effective** est définie comme le temps requis pour que l'activité entrée à l'origine ait décréue 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 ( $\beta$ )

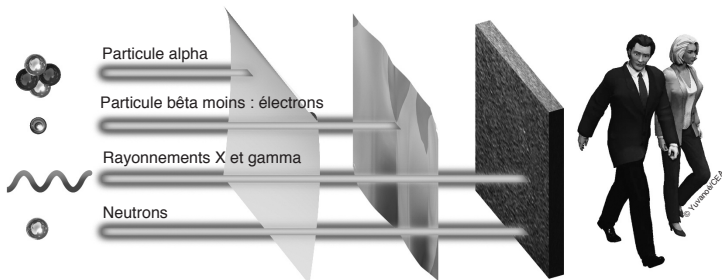
Pénétration faible. Ils parcourent quelques mètres dans l'air. Une feuille d'aluminium de quelques millimètres peut arrêter les électrons.

#### 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.

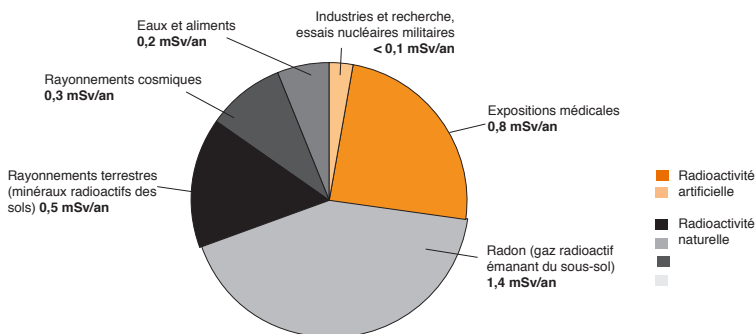


## Expositions aux rayonnements ionisants en France (hors activités professionnelles) Ionizing radiation exposure in France (other than occupational)

Radioactivité	Origine	Provenance	Type de rayonnement prédominant	Dose <sup>(1)</sup> exprimée en mSv/an
<b>naturelle</b>	Cosmique	Soleil, étoiles, galaxies	$\gamma$ , neutrons, particules lourdes	<b>0,3</b> (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>1,6</b>
<b>artificielle</b>	Médecine	radiodiagnostic, radiothérapie imagerie nucléaire	X, $\beta$ , $\gamma$	<b>0,8</b>
	Industrie	effluents et irradiation directe		<b>&lt; 0,1</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

## Exposition aux rayonnements ionisants de la population en France Doses annuelles (mSv/an) - Total : 3,3 mSv/an par personne en moyenne

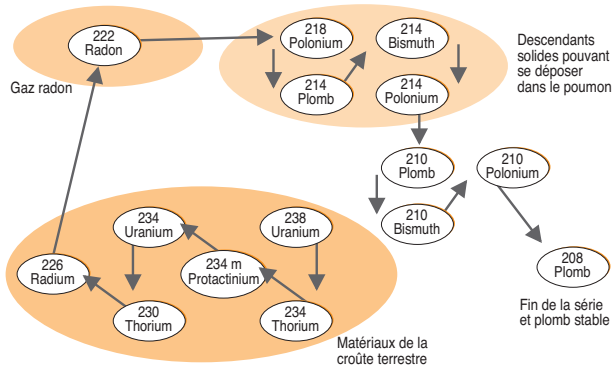


Source : Estimation 2005 - IRSN



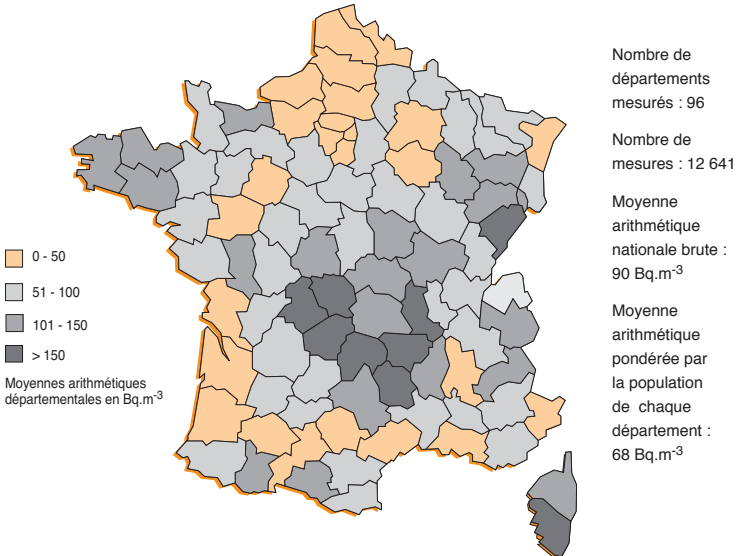
## Le radon

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 (a)
<b>Irradiation externe tellurique</b>		
En plein air	0,07	
Dans les bâtiments	0,41	
Exposition externe tellurique totale	0,48	0,3 - 0,6 (b)
<b>Inhalation</b>		
Séries uranium et thorium	0,006	
Radon (222 Rn)	1,15	
Thoron (220 Rn)	0,10	
Exposition totale par inhalation	1,26	0,2 - 10 (c)
<b>Ingestion</b>		
Potassium 40 ( <sup>40</sup> K)	0,17	
Séries uranium et thorium	0,12	
Exposition totale par ingestion	0,29	0,2 - 0,8 (d)
<b>Total</b>	<b>2,4</b>	<b>1 - 10</b>

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

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

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

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

Source : UNSCEAR

## L'activité radioactive - exemples

### Examples of natural or human generated activity

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

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

#### Exemples de radioactivité naturelle :

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

#### Exemples de radioactivité artificielle en médecine :

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

#### Exemple de radioactivité artificielle dans l'industrie nucléaire :

Nature	Activité
Combustible utilisé en sortie de réacteur (1/4 de cœur déchargé)	$10^{19}$ 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'**AEN**, 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.

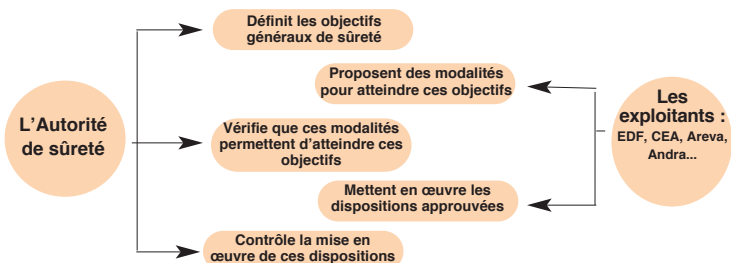
## L'Autorité de sûreté

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 : ASN

## 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](http://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

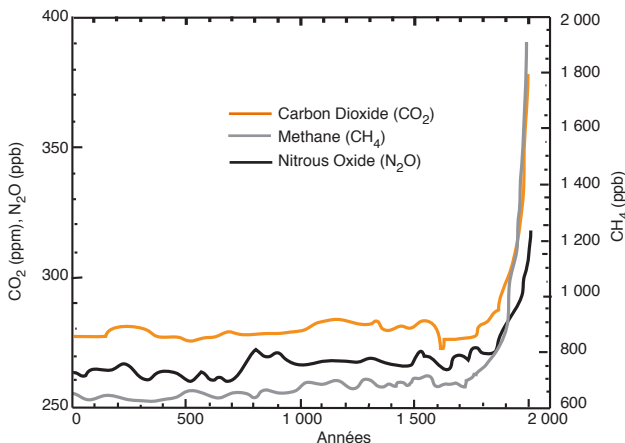
### Qu'est-ce que l'effet de serre ?

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

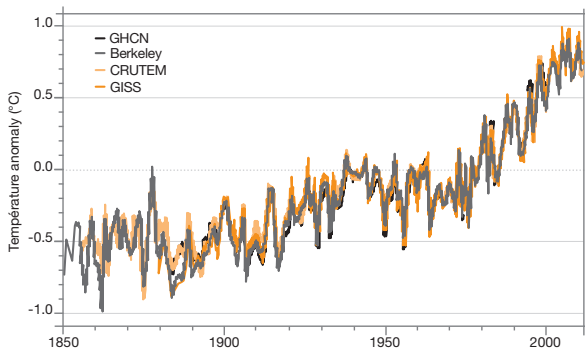
ppb = partie par milliard (billion en anglais)

Gaz	Pouvoir global de réchauffement relatif / CO <sub>2</sub> 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

Anomalies de la température moyenne globale annuelle de l'air à la surface terrestre relatives au climat de la période 1961-1990 ; valeurs issues des dernières versions de 4 jeux de données différents (Berkeley, CRUTEM, GHCN et GISS)

Global annual average land-surface air temperature (LSAT) anomalies relative to a 1961-1990 climatology from the latest versions of four different data sets (Berkeley, CRUTEM, GHCN and GISS)



Source : IPCC 2013

Augmentation de la température globale moyenne d'équilibre à la surface terrestre par rapport au niveau pré-industriel

Global average Earth's surface temperature increasing compared to pre-industrial level

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

### Caractéristiques principales des RCP\*

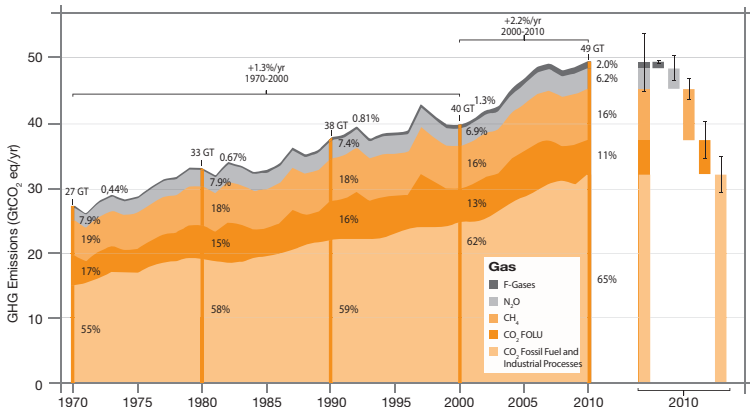
Nom du scénario	Forçage radiatif (par rapport à 1750)	Concentration en GES (ppm)	Trajectoire
RCP 8.5	> 8,5 W/m <sup>2</sup> en 2100	> 1 370 ppm CO <sub>2</sub> e en 2100	croissante
RCP 6.0	~ 6 W/m <sup>2</sup> avec stabilisation après 2100	~ 850 ppm en CO <sub>2</sub> e avec stabilisation après 2100	stabilisation sans dépassement
RCP 4.5	~ 4,5 W/m <sup>2</sup> avec stabilisation après 2100	~ 660 ppm CO <sub>2</sub> e avec stabilisation après 2100	stabilisation sans dépassement
RCP 2.6	pic à ~ 3 W/m <sup>2</sup> avant 2100 puis déclin	pic ~ 490 ppm CO <sub>2</sub> e avant 2100 puis déclin	pic puis déclin

\* RCP : Representative Concentration Pathway

Source : MEDDE/SCEE/ONERC 2013

## Total annuel des émissions mondiales par groupe de gaz à effet de serre d'origine anthropogénique (1970-2010)

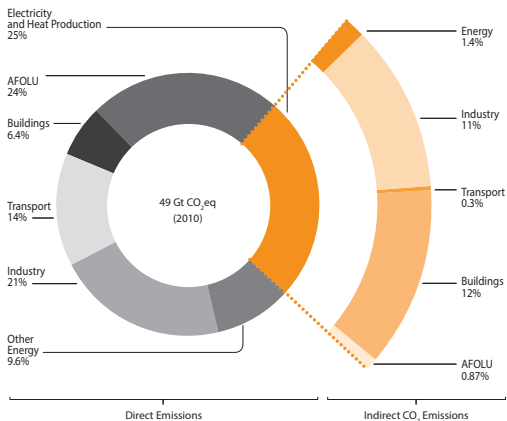
Total World annual anthropogenic GHG Emissions by Groups of Gases (1970-2010)



Source : IPCC 2014

## Emissions de gaz à effet de serre par secteurs économiques

Greenhouse Gas Emissions by economic sectors



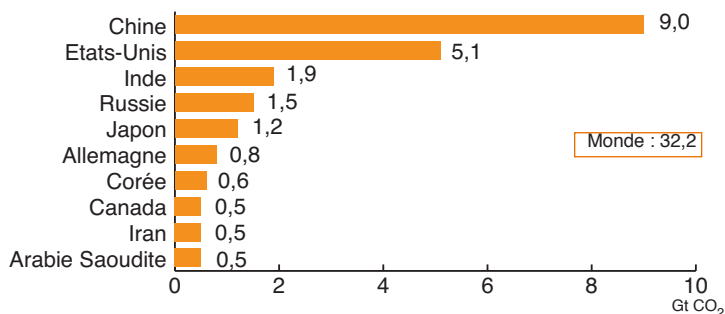
The inner circle shows direct GHG emission shares (% of total anthropogenic GHG emissions) of five different economic sectors during 2010. The pull-out to the right shows how indirect CO<sub>2</sub> emission shares from electricity and heat production are attributed to sectors of final energy use.

Source : IPCC 2014



## Les plus gros émetteurs de CO<sub>2</sub> en 2013

### The 10 biggest CO<sub>2</sub> emitters in 2013



Source : CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion, AIE, éd. 2015

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

Filières	Emissions** (g équiv. CO <sub>2</sub> /kWh)
Nucléaire	4
Hydraulique fil de l'eau	6
Hydraulique retenue	6
Eoliennes	14
Hydraulique pompage	140
CCG	499
Diesels	870
Charbon 600 MW (avec désulfuration)	1 029
Charbon 250 MW (sans désulfuration)	1 061
Fioul (TAC : Turbine à combustion)	1 320
Fioul (TAV : Turbine à vapeur)	1 327

\* 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>.

Source : Profil Environnemental du kWh EDF ; coefficients 2013 utilisés pour les calculs de l'année 2015 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 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
- Décembre 2012 : décision de l'ONU à Doha d'une deuxième période du protocole de Kyoto
- Fin 2013, début 2014 : parution du 5<sup>e</sup> rapport du GIEC
- Décembre 2015 : adoption par consensus de l'accord de Paris pour les 195 parties (COP21)
- Décembre 2016 : COP22 à Marrakech

### *Au niveau européen,*

- Juin 2000 : lancement du Programme européen sur les changements climatiques (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)
- Décembre 2008 : adoption du paquet-énergie-climat
- Mars 2011 : adoption de la feuille de route climat 2050
- Octobre 2014 : adoption du paquet énergie-climat 2030

### *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
- Juillet 2011 : parution du Plan national d'adaptation au changement climatique
- 2012 : première conférence environnementale
- 2013 : débat national sur la transition énergétique (DNTE)
- Août 2015 : vote de la loi transition énergétique pour la croissance verte (LTECV)

## 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, dans le cadre de l'ONU 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 alors 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.

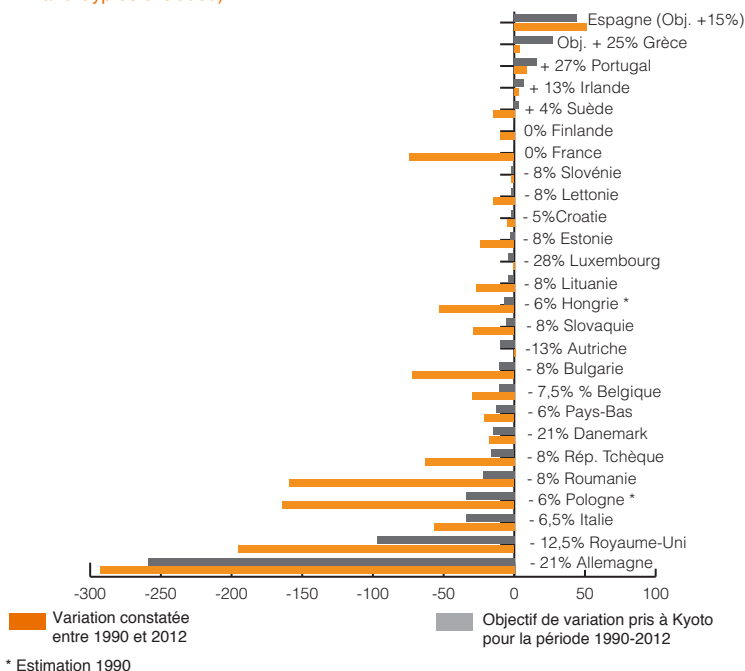
« L'annexe B » est issu de « l'annexe 1 » de la Convention-cadre sur les changements climatiques (New York 1992) signée à Rio la même année.

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 ». Les Etats-Unis restent le seul pays développé de l'Annexe B à ne pas l'avoir ratifié. Par suite de l'adhésion de la Russie en novembre 2004, le Protocole de Kyoto a prévu, 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://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpfrench.pdf>

### Situation des émissions de gaz à effet de serre des pays de l'UE28 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 : Annual European Union GHG inventory 1990-2011 and inventory report 2013, 2013 EEA

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

### World: evolution of CO<sub>2</sub> emissions

Mt CO <sub>2</sub> Mt of CO <sub>2</sub>	1971	1980	1990	2000	2005	2010	2012	2013	%/an 1990- 2013 %/year	%/an 1990- 2013 %
<b>Amérique OCDE</b> <sup>(1)</sup> <b>OECD America</b> <sup>(1)</sup>	4 743	5 243	5 510	6 551	6 674	6 353	6 067	6 190	0,5	12,3
dont Etats-Unis of which USA	4 288	4 595	4 803	5 643	5 702	5 356	5 032	5 120	0,3	6,6
<b>Amérique non OCDE</b> <b>Non OECD America</b>	337	506	553	779	855	1 022	1 102	1 128	3,0	104,0
dont Brésil of which Brazil	88	168	184	292	311	371	422	452	3,8	145,7
<b>Europe OCDE</b> <sup>(2)</sup> <b>OECD Europe</b> <sup>(2)</sup>	3 625	4 101	3 900	3 889	4 024	3 792	3 638	3 553	-0,4	-8,9
<b>Union européenne 28</b> <b>European Union 28</b>	-	-	4 024	3 782	3 916	3 611	3 425	3 340	-0,8	-17,0
dont France of which France	423	455	346	365	370	340	312	316	-0,4	-8,7
<b>Europe non-OCDE et Eurasie</b> <sup>(3)</sup> <b>Non OECD-Europe and Eurasia</b> <sup>(3)</sup>	2 188	3 293	3 940	2 377	2 471	2 537	2 606	2 573	-1,8	-34,7
<b>Moyen-Orient</b> Middle East	96	303	535	886	1 154	1 496	1 615	1 648	4,8	208,0
<b>Afrique</b> Africa	249	398	529	658	858	999	1 054	1 075	3,0	103,2
<b>Asie</b> Asia	1 258	2 139	3 430	5 322	7 891	10 351	12 028	12 630	5,6	268,2
dont Chine of which China	840	1 450	2 217	3 300	5 401	7 137	8 564	9 023	6,0	307,0
dont Inde of which India	182	264	534	892	1 087	1 597	1 780	1 869	5,4	250,0
<b>OCDE Asie Océanie</b> <sup>(4)</sup> <b>OECD Asia Oceania</b> <sup>(4)</sup>	974	1 238	1 595	2 007	2 118	2 161	2 285	2 295	1,5	43,9
<b>Monde</b> World	<b>13 995</b>	<b>17 780</b>	<b>20 623</b>	<b>23 322</b>	<b>27 048</b>	<b>29 838</b>	<b>31 491</b>	<b>32 190</b>	<b>1,9</b>	<b>56,1</b>
dont OCDE of which OECD	9 342	10 582	11 006	12 447	12 816	12 306	11 990	12 038	0,4	9,4
dont soutes maritimes of which marine bunkers	354	357	372	499	580	667	615	609	2,1	63,7
dont soutes aéronautiques of which aviation bunkers	169	202	259	355	423	460	481	490	2,7	89,2

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

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

(3) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirghizstan, Lettonie, Lituanie, Malte, République de Moldavie, Roumanie, République de Macédoine, Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine, Ouzbékistan - Albania, Armenia, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnia-Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, Kirghizstan, Latvia, Lithuania, FYR of Macedonia, Malta, Republic of Moldova, Romania, Russia, Serbia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan

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

Source : CO<sub>2</sub> Emission from fuel combustion, AIE, éd. 2015

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

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

t CO <sub>2</sub> / habitant t CO <sub>2</sub> / capita	1971	1980	1990	2000	2010	2013
Amérique OCDE <sup>(1)</sup> OECD America <sup>(1)</sup>	16,2	15,7	14,6	15,3	13,4	12,7
dont Etats-Unis of which USA	20,7	20,2	19,2	20,0	17,3	16,2
Amérique non OCDE Non OECD America	1,5	1,8	1,6	1,9	2,2	2,4
dont Brésil of which Brazil	0,9	1,4	1,2	1,7	1,9	2,3
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	8,1	8,7	7,8	7,5	6,9	6,3
Union européenne 28 European Union 28	-	-	8,4	7,8	7,2	6,6
dont France of which France	<b>8,1</b>	<b>8,3</b>	<b>5,9</b>	<b>6,0</b>	<b>5,2</b>	<b>4,8</b>
Europe non-OCDE et Eurasie <sup>(3)</sup> Non OECD Europe and Eurasia <sup>(3)</sup>	7,4	10,3	11,5	7,0	7,5	7,5
Moyen Orient Middle East	1,5	3,4	4,2	5,5	7,3	7,6
Afrique Africa	0,7	0,8	0,9	0,8	1,0	1,0
Asie hors Chine Asia exclusive of China	0,4	0,5	0,8	1,0	1,4	1,5
dont Inde of which India	0,3	0,4	0,6	0,9	1,3	1,5
Chine China	1,0	1,5	1,9	2,6	5,3	6,6
OCDE Asie Océanie <sup>(4)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(4)</sup>	6,2	7,0	8,3	9,9	10,2	10,8
<b>Monde World</b>	<b>3,7</b>	<b>4,0</b>	<b>3,9</b>	<b>3,8</b>	<b>4,3</b>	<b>4,5</b>
OCDE OECD	10,4	10,8	10,3	10,8	9,9	9,6

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

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

(3) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgizstan, Lettonie, Lituanie, Malte, République de Moldavie, Roumanie, République de Macédoine, Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine, Ouzbékistan - Albania, Armenia, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnia-Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgizstan, Latvia, Lithuania, FYR of Macedonia, Malta, Republic of Moldova, Romania, Russia, Serbia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan

(4) Australie, Israël, Japon, Corée et Nouvelle Zélande - Australia, Israël, Japan, Korea & New Zealand  
Source : CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion, AIE, éd 2015

## 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\$2005 selon PPA kg CO <sub>2</sub> / US\$ using 2005 prices and PPP	1971	1980	1990	2000	2010	2012	2013
Amérique OCDE <sup>(1)</sup> OECD America <sup>(1)</sup>	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,35
dont Etats-Unis of which USA	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,35
Amérique non OCDE Non OECD America	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
dont Brésil of which Brazil	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,17
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,23
Union européenne 28 European Union 28	-	-	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
<b>dont France of which France</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,15</b>
Europe non OCDE et Eurasie <sup>(3)</sup> Non-OECD Europe and Eurasia <sup>(3)</sup>	1,2	1,2	1,2	1,1	0,7	0,6	0,62
Moyen Orient Middle East	0,1	0,1	0,3	0,4	0,4	0,4	0,38
Afrique Africa	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,24
Asie hors Chine Asia exclusive of China	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,27
dont Inde of which India	0,3	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,32
Chine China	2,1	2,1	1,4	0,8	0,6	0,7	0,63
OCDE Asie Océanie <sup>(4)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(4)</sup>	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,33
<b>Monde World</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,37</b>
OCDE OECD	0,7	0,6	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3

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

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

(3) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgizstan, Lettonie, Lituanie, Malte, République de Moldavie, Roumanie, République de Macédoine, Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine, Ouzbékistan - **Albania, Armenia, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnia-Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgizstan, Latvia, Lithuania, Malta, Republic of Moldova, Romania, Russia, Serbia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan**

(4) Australie, Israël, Japon, Corée et Nouvelle Zélande - **Australia, Israël, Japan, Korea & New Zealand**

Source : CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion, AIE, éd 2015

## 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> )

## Union européenne : émissions de CO<sub>2</sub> par habitant provenant de combustibles fossiles

European Union: 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	2010	2013
Allemagne	Germany	12,5	13,4	11,9	9,9	9,3	9,3
Autriche	Austria	6,5	7,2	7,3	7,7	8,3	7,7
Belgique	Belgium	12,2	12,7	10,7	11,1	9,4	8,0
Bulgarie	Bulgaria	7,5	9,6	8,6	5,2	6,0	5,4
Chypre	Cyprus	2,8	5,1	6,8	9,1	8,9	6,5
Danemark	Denmark	11,2	12,3	9,9	9,5	8,6	6,9
Espagne	Spain	3,5	4,9	5,2	6,9	5,6	5,1
Estonie	Estonia	-	-	22,2	10,4	14,0	14,3
Finlande	Finland	8,6	11,5	10,7	10,5	11,5	9,0
<b>France</b>		<b>8,1</b>	<b>8,3</b>	<b>5,9</b>	<b>6,0</b>	<b>5,2</b>	<b>4,8</b>
Grèce	Greece	2,8	4,6	6,8	8,1	7,5	6,3
Hongrie	Hungary	5,8	7,7	6,3	5,2	4,8	4,0
Irlande	Ireland	7,3	7,6	8,6	10,7	8,6	7,5
Italie	Italy	5,4	6,3	6,9	7,4	6,6	5,6
Lettonie	Latvia	-	-	7,1	2,9	3,9	3,4
Lituanie	Lithuania	-	-	8,7	2,9	3,9	3,6
Luxembourg		48,1	34,2	28,1	18,4	21,0	17,9
Malte	Malta	2,2	3,1	6,5	5,6	6,1	5,5
Pays-Bas	Netherlands	9,7	10,3	9,7	9,9	10,1	9,3
Pologne	Poland	8,8	11,7	9,1	7,6	8,1	7,6
Portugal		1,7	2,4	3,8	5,6	4,5	4,3
Rep. Tchèque	Czech Republic	15,6	16,3	14,5	11,8	10,6	9,6
Rep. Slovaque	Slovak Republic	8,5	11,2	10,4	6,8	6,4	6,0
Roumanie	Romania	5,6	8,0	7,3	3,8	3,7	3,5
Royaume-Uni	United Kingdom	11,1	10,1	9,6	8,9	7,6	7,0
Slovénie	Slovenia	-	-	6,8	7,1	7,5	7,0
Suède	Sweden	10,1	8,8	6,1	5,9	4,9	3,9
<b>Union européenne 28</b>	<b>European Union 28</b>			<b>8,4</b>	<b>7,8</b>	<b>7,2</b>	<b>6,6</b>
Canada		15,5	17,2	15,1	16,8	15,2	15,3
Chine	China	1,0	1,5	1,9	2,6	5,3	6,6
Etats-Unis	United States	20,7	20,2	19,2	20,0	17,3	16,2
Japon	Japan	7,2	7,4	8,5	9,1	8,8	9,7

Source : CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, AIE éd 2015

## 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\$2005 selon PPA kg CO <sub>2</sub> /US\$ using 2005 prices and PPP	1971	1980	1990	2000	2010	2012	2013
Allemagne Germany	0,8	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
Autriche Austria	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Belgique Belgium	0,8	0,6	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2
Bulgarie Bulgaria	2,3	1,7	1,1	0,7	0,5	0,5	0,4
Chypre Cyprus	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
Danemark Denmark	0,6	0,6	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
Espagne Spain	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Estonie Estonia	-	-	2,2	0,9	0,8	0,7	0,7
Finlande Finland	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
<b>France</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>
Grèce Greece	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Hongrie Hungary	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2
Irlande Ireland	0,7	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2
Italie Italy	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Lettonie Latvia	-	-	0,7	0,3	0,3	0,2	0,2
Lituanie Lithuania	-	-	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2
Luxembourg	2,0	1,2	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3
Malte Malta	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2
Pays-Bas Netherlands	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
Pologne Poland	1,2	1,3	1,1	0,6	0,5	0,4	0,4
Portugal	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
Rép. Tchèque Czech Republic	1,2	1,1	0,8	0,7	0,4	0,4	0,4
Rép. Slovaque Slovak Republic	0,9	1,0	0,9	0,5	0,3	0,3	0,3
Roumanie Romania	1,5	1,1	0,9	0,6	0,3	0,3	0,3
Royaume-Uni UK	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
Slovénie Slovenia	-	-	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Suède Sweden	0,6	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
<b>Union européenne 28</b> <b>European Union 28</b>	-	-	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>
Canada	0,8	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
Chine China	2,1	2,1	1,4	0,8	0,6	0,7	0,6
Etats-Unis United States	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4
Japon Japan	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Source : CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion, AIE, éd 2015



## Europe : émissions de CO<sub>2</sub> par kWh pour le secteur de l'électricité

Europe: CO<sub>2</sub> emissions per kWh from electricity generation

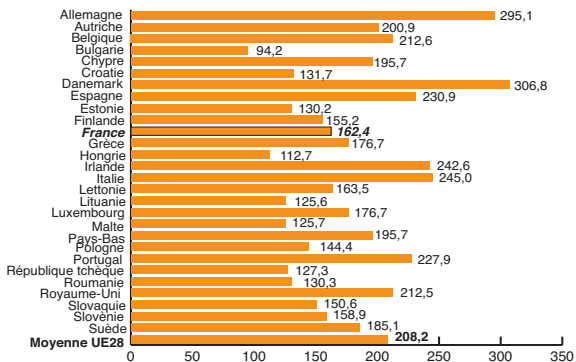
grammes CO <sub>2</sub> / kWh	1990	1995	2000	2005	2010	2012	2013
Allemagne <i>Germany</i>	624	601	542	506	475	483	486
Autriche <i>Austria</i>	244	210	174	225	200	168	166
Belgique <i>Belgium</i>	358	373	300	283	225	221	199
Bulgarie <i>Bulgaria</i>	776	589	487	517	553	545	507
Chypre <i>Cyprus</i>	847	831	846	796	712	734	646
Danemark <i>Denmark</i>	682	596	452	374	362	259	300
Espagne <i>Spain</i>	436	462	441	402	240	310	247
Estonie <i>Estonia</i>	962	1 095	1 082	1 067	1 031	927	1 016
Finlande <i>Finland</i>	193	227	178	168	234	137	175
<b>France</b>	<b>108</b>	<b>75</b>	<b>77</b>	<b>81</b>	<b>80</b>	<b>67</b>	<b>64</b>
Grèce <i>Greece</i>	1 007	964	836	793	730	695	649
Hongrie <i>Hungary</i>	503	519	473	376	319	317	293
Irlande <i>Ireland</i>	750	736	650	590	462	435	442
Italie <i>Italy</i>	581	551	502	491	410	389	343
Lettonie <i>Latvia</i>	116	135	136	89	120	92	134
Lituanie <i>Lithuania</i>	159	66	100	101	340	272	204
Luxembourg	2 769	1 861	467	345	341	337	306
Malte <i>Malta</i>	1 609	968	827	1 044	872	864	731
Pays-Bas <i>Netherlands</i>	616	554	482	459	419	446	452
Pologne <i>Poland</i>	1 009	924	884	836	800	772	769
Portugal	527	585	493	527	257	368	281
Rép. Tchèque <i>Czech Republic</i>	760	811	734	625	599	559	516
Rép. Slovaque <i>Slovak Republic</i>	398	371	251	226	201	198	176
Roumanie <i>Romania</i>	865	755	589	502	420	489	356
Royaume-Uni <i>UK</i>	686	538	480	501	451	489	459
Slovénie <i>Slovenia</i>	438	390	350	356	331	338	319
Suède <i>Sweden</i>	12	22	22	20	26	12	13
<b>Union européenne 28 European Union 28</b>	<b>504</b>	<b>452</b>	<b>409</b>	<b>396</b>	<b>352</b>	<b>356</b>	<b>337</b>
Canada	200	179	220	200	183	161	158
Chine <i>China</i>	911	922	904	885	749	723	712
Etats-Unis <i>United States</i>	593	601	604	586	531	488	489
Japon <i>Japan</i>	446	419	410	440	429	565	572

Source : CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion, AIE éd 2015

## DONNÉES ÉCONOMIQUES

Prix TTC € / MWh Année 2015	
Allemagne	295,1
Autriche	200,9
Belgique	212,6
Bulgarie	94,2
Chypre	195,7
Croatie	131,7
Danemark	306,8
Estonie	130,2
Finlande	155,2
<b>France</b>	<b>162,4</b>
Grèce	176,7
Hongrie	112,7
Irlande	242,6
Italie	245,0
Lettonie	163,5
Lituanie	125,6
Luxembourg	176,7
Malte	125,7
Pays-Bas	195,7
Pologne	144,4
Portugal	227,9
Rép. Tchèque	127,3
Roumanie	130,3
Royaume-Uni	212,5
Slovaquie	150,6
Slovénie	158,9
Suède	185,1
<b>Moyenne UE 28</b>	<b>208,2</b>

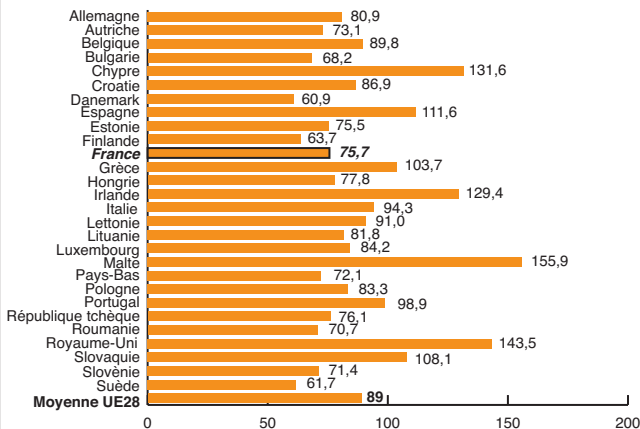
Prix TTC / MWh de l'électricité pour les ménages  
de taille moyenne - Année 2015



Source : Eurostat

Prix TTC € / MWh Année 2015	
Allemagne	80,9
Autriche	73,1
Belgique	89,8
Bulgarie	68,2
Chypre	131,6
Croatie	86,9
Danemark	60,9
Espagne	111,6
Estonie	75,5
Finlande	63,7
<b>France</b>	<b>75,7</b>
Grèce	103,7
Hongrie	77,8
Irlande	129,4
Italie	94,3
Lettonie	91,0
Lituanie	81,8
Luxembourg	84,2
Malte	155,9
Pays-Bas	72,1
Pologne	83,3
Portugal	98,9
Rép. Tchèque	76,1
Roumanie	70,7
Royaume-Uni	143,5
Slovaquie	108,1
Slovénie	71,4
Suède	61,7
<b>Moyenne UE 28</b>	<b>89,0</b>

Prix TTC / MWh de l'électricité  
pour les industries de taille moyenne - Année 2015



Source : Eurostat

## Exemples de prix moyens des énergies en France

### Examples of average prices of energy in France

Prix en monnaie courante Price in legal currency	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Exemples de prix de l'électricité</b> Examples of Electricity prices										
<b>Domestique Residential</b> Prix de 100 kWh, en € TTC, simple tarif, selon la puissance souscrite : Price of 100 kWh in € including taxes, simple tariff depending on the subscribed power										
3 kVA	12,53	13,43	12,51	12,9	10,84	11,61	12,18	13,15	13,77	14,51
> 3 kVA	10,6	11,53	10,28	10,57	10,89	11,68	12,25	13,19	13,77	14,51
<b>Industriel Industrial</b> Prix de 100 kWh, en € HTVA, tarif bleu, selon période Price of 100 kWh in € excluding taxes, blue tariff, depending on time period										
Heures pleines	9,06	9,65	8,58	8,83	9,43	10,2	10,7	11,51	11,88	12,02
Heures creuses	5,14	5,49	5,26	5,38	6,05	7,21	7,59	8,18	8,44	8,64
<b>Exemples de prix du gaz</b> (Proche banlieue parisienne hors Paris) Examples of gas prices (Paris suburbs area excluding Paris)										
<b>Domestique Residential</b> Prix de 100 kWh PCS <sup>(1)</sup> , en € TTC, simple tarif Price of 100 kWh GCV <sup>(1)</sup> in € including taxes, simple tarif										
Tarif de base basic price	5,28	4,97	5,15	6,36	8,47	9,4	9,97	10,36	10,21	9,92
<b>Industriel Industrial</b> Prix de 100 kWh PCS <sup>(1)</sup> , en € HTVA, tarif B2S, selon la saison Price of 100 kWh GCV <sup>(1)</sup> in € excluding taxes, B2S tariff depending on season										
Hiver Winter	1,97	2,02	2,11	2,74	4,1	4,67	5,21	5,18	4,94	4,70
Été Summer	1,52	1,56	1,64	2,21	2,63	3,21	3,75	3,72	3,32	2,92
<b>Exemples de prix du fioul</b> (moyenne France entière) Examples of fuel oil prices (France average)										
<b>Domestique Residential</b> Prix de 100 kWh PCI, en € TTC, pour une livraison de 2 000 à 5 000 litres <sup>(2)</sup> Price of 100 kWh NCV in € including taxes, for a 2,000 - 5,000 l delivery <sup>(2)</sup>										
tarif "C1"	3,41	3,06	4,64	5,89	7,18	8,9	9,72	9,3	8,62	7,08
<b>Industriel Industrial</b> Prix de 100 kWh PCI, en € HTVA, selon la teneur en soufre <sup>(3)</sup> Price of 100 kWh NCV in € excluding taxes, depending on percentage of sulphur <sup>(3)</sup>										
HTS High percentage	1,02	0,99	1,55	1,96	nd	nd	nd	nd	nd	nd
BTS Low percentage	nd	1,04	1,76	2,23	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TBTS Very low percentage	nd	1,12	1,92	2,39	3,72	4,72	5,42	4,98	4,66	3,36

(1) Pouvoir Calorifique Supérieur **Gross Calorific Value**

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

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

Source : base de données internet Pégase 2016, Observatoire de l'énergie

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

Filière	Arrêtés	Durée des contrats	Exemple de tarifs pour les nouvelles installations
Hydraulique	01/03/07	20 ans	• 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
			• 15 c€/kWh pour énergie hydraulique des mers (houlomotrice, marémotrice ou hydrocinétique)
Biogaz	19/05/11	15 ans	entre 8,121 et 9,745 c€/kWh selon la puissance + prime à l'efficacité énergétique comprise entre 0 et 4 c€/kWh
Méthanisation	19/05/11	15 ans	entre 11,19 et 13,37 c€/kWh selon la puissance + prime à l'efficacité énergétique comprise entre 0 et 4 c€/kWh et une prime pour le traitement d'effluent d'élevage comprise entre 0 et 2,6 c€/kWh
Energie éolienne	01/07/14	15 ans	• éolien terrestre : 8,2 c€/kWh pendant 10 ans, puis entre 2,8 et 8,2 c€/kWh pendant 5 ans selon les sites
	17/11/08		• éolien en mer : 13 c€/kWh pendant 10 ans, puis entre 3 et 13 c€/kWh pendant 10 ans selon les sites.
Energie éolienne avec dispositif de lissage & prévision de la production dans les zones particulièrement exposées au risque cyclonique	08/03/13	15 ans	23 c€/kWh pendant 10 ans puis entre 5 et 23 c€/kWh selon les sites
Energie photovoltaïque	04/03/11	20 ans	<p>Demande de raccordement envoyée avant le 1<sup>er</sup> juillet 2011 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• installations intégrées au bâti : 46 ; 40,6 ; 40,25 ou 35,2 c€/kWh selon l'usage du bâtiment et la puissance de l'installation</li> <li>• installations intégrées simplifiées au bâti : 30,35 ou 28,85 c€/kWh</li> <li>• autres installations : 12 c€/kWh</li> </ul>
			<p>Les tarifs applicables aux projets dont la demande de raccordement a été envoyée après le 1<sup>er</sup> et le 30 septembre 2011 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• installation intégrées au bâti: 42,55c€/kWh, 37,23,36,74 ou 31,85 selon l'usage du bâtiment et la puissance de l'installation</li> <li>• installations intégrées simplifiées au bâti: 26,09 ou 27,46 c€/kWh</li> <li>• autres installations: 11,688 c€/kWh</li> </ul>
Géothermie	23/07/10	15 ans	Métropole (resp. DOM) : 20 c€/kWh (resp. 13) + prime à l'efficacité énergétique entre 0 et 8 c€/kWh (resp. 0 et 3)
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*	27/01/11	20 ans	4,34 c€/kWh + prime entre 7,71 et 12,53 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
Autres installations de puissance inférieure à 36 kVA	13/03/02	15 ans	7,87 à 9,60 c€/kWh issu du tarif « bleu » aux clients domestiques

\* Biomasse, déchets animaux bruts ou transformés.

Source : MEDDE 2016

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

### France: Uranium prices (Euratom average)

		1980	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Prix moyen pondéré des contrats à long terme Long term contracts average prices	\$/lb <sup>(1)</sup>	36	29,4	17,5	13,1	16,1	31,45	44,68	44,49	43,52	40,02	40,24
	€/kg <sup>(2)</sup>	67,2	60	34,75	37	33,6	61,68	83,45	90,03	85,19	78,31	94,30
Prix moyen annuel des échanges spot Spot price	\$/lb <sup>(1)</sup>	35	9,7	7,7	8,1	21,2	40,53	57,52	48,33	39,97	38,15	37,87
	€/kg <sup>(2)</sup>	65,34	19,75	15,25	22,8	44,3	79,48	107,43	97,80	78,24	74,65	88,73

(1) US\$ courants/lb U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> Current US\$/lb U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>

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

Source : rapport annuel Euratom 2015

## France : prix CAF des énergies importées

### France: CIF prices of imported energy

Monnaie courante Legal currency	1973	1980	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
Cours internationaux moyens International average price											
Brent daté (\$/bl)	-	37,83	23,65	17,04	28,52	54,41	79,44	111,22	111,66	108,7	99,02
Brent spot IPE (\$/bl)	-	-	24,87	16,97	28,45	55,09	80,2	110,83	111,68	108,76	99,51
Gaz NBP, cours spot (£/THERM)	-	-	-	-	20	41,38	43,27	61,18	61,87	68,08	51,77
NBP Gas, spot price (£/THERM)											
Gaz NBP, cours spot (US\$/Mbtu)	-	-	-	-	3,0	7,45	6,7	9,81	9,81	10,65	8,51
NBP Gas, spot price (US\$/Mbtu)											
Dollar en euro Dollar in euro	0,679	0,644	0,83	0,761	1,085	0,8	0,76	0,72	0,78	0,75	0,75
Livre en euro Pound in euro			-	-	1,64	1,46	1,17	1,15	1,23	1,18	1,24
Prix moyen à l'importation Average importation price											
CMS (€/t) SMF (€/t)	-	42,1	54,8	48,3	51,4	78,04	112,81	140,4	135,58	101,33	96,5
Pétrole brut (€/t) Crude oil	17,5	155,3	136,4	110,2	227,7	315,97	444,96	597,17	653,56	618,65	570,18
Pétrole brut (\$/bl) Crude oil	3,52	32,88	22,42	18,63	28,62	53,4	80,43	113,43	114,72	112,11	103,71
Produits pétroliers raffinés (€/t) Petroleum products (€/t)	-	159,8	172,4	141,8	277,9	375,9	493,55	636,2	725,56	684,44	625,17
Electricité exportée (€/kWh)						4,24	4,46	4,78	4,48	4,12	3,4

btu : british thermal unit -

CAF: Coût Assurance Fret CIF Cost Insurance Freight

CMS : Combustibles Minéraux Solides SMF: Solid Mineral Fuels

NBP : National Balancing Point (marché notional sur le National Transmission System (GB) utilisé comme point de livraison du gaz vendu ou acheté)

Source : base de données internet Pégase 2016, Observatoire de l'énergie

# GÉNÉRALITÉS

## TABLEAU DE MENDELÉËV

# Tableau périodique des éléments

- métaux alcalins
- métaux alcalino-terreux
- métaux de transition
- lanthanides
- halogènes
- gaz rares
- autres métaux
- semi-métaux (métalloïdes)
- autres éléments non métalliques
- actinides

1	2											13	14	15	16	17	18		
1 H hydrogène 1,0079	2 He hélium 4,0026											5 B bore 10,811	6 C carbone 12,011	7 N azote 14,0064	8 O oxygène 15,9994	9 F fluor 18,9984	10 Ne néon 20,1797		
3 Li lithium 6,941	4 Be béryllium 9,0122											11 Na sodium 22,9898	12 Mg magnésium 24,304	13 Al aluminium 26,9815	14 Si silicium 28,0855	15 P phosphore 30,9738	16 S soufre 32,065	17 Cl chlore 35,453	18 Ar argon 39,948
19 K potassium 39,0983	20 Ca calcium 40,078	21 Sc scandium 44,9559	22 Ti titane 47,88	23 V vanadium 50,9415	24 Cr chrome 51,9961	25 Mn manganèse 54,938	26 Fe fer 55,845	27 Co cobalt 58,9332	28 Ni nickel 58,6934	29 Cu cuivre 63,546	30 Zn zinc 65,38	31 Ga gallium 69,723	32 Ge germanium 72,64	33 As arsenic 74,9216	34 Se sélénium 78,96	35 Br brome 79,904	36 Kr krypton 83,798		
37 Rb rubidium 85,468	38 Sr strontium 87,62	39 Y yttrium 88,9058	40 Zr zirconium 91,224	41 Nb niobium 92,9063	42 Mo molybdène 95,94	43 Tc technetium 98	44 Ru ruthénium 101,07	45 Rh rhodium 102,9055	46 Pd palladium 106,42	47 Ag argent 107,8682	48 Cd cadmium 112,411	49 In indium 114,818	50 Sn étain 118,710	51 Sb antimoine 121,757	52 Te tellure 127,6	53 I iode 126,905	54 Xe xénon 131,29		
55 Cs césium 132,9054	56 Ba baryum 137,327	57-71 La-Lu lanthanides	72 Hf hafnium 178,49	73 Ta tantalum 180,9479	74 W tungstène 183,84	75 Re rhenium 186,207	76 Os osmium 190,23	77 Ir iridium 192,2217	78 Pt platine 195,084	79 Au or 196,9665	80 Hg mercure 200,59	81 Tl thallium 204,3833	82 Pb plomb 207,2	83 Bi bismuth 208,9804	84 Po polonium 209	85 At astate 210	86 Rn radon 222		
67 Fr francium [223]	68 Ra radium [226]	87-103 Ac-Lr actinides	104 Rf rutherfordium [261]	105 Db dubnium [261]	106 Sg seaborgium [263]	107 Bh bohrium [264]	108 Hs hassium [265]	109 Mt meitnerium [268]	110 Ds darmstadtium [271]	111 Rg roentgenium [272]	112 Cn copernicium [285]	113 Uut ununtrium [288]	114 Fl flérovium [289]	115 Uup ununpentium [291]	116 Lv livermorium [293]	117 Uus ununseptium [294]	118 Uuo ununoctium [294]		

Le symbole en blanc ou orange indique l'absence de nucléides stables.  
Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de masse de l'isotope le plus stable.

57 La lanthane 138,9055	58 Ce cérium 140,116	59 Pr praseodyme 140,9077	60 Nd néodyme 144,242	61 Pm prométhium [145]	62 Sm samarium 150,36	63 Eu europium 151,964	64 Gd gadolinium 157,25	65 Tb terbium 158,9253	66 Dy dysprosium 162,500	67 Ho holmium 164,9303	68 Er erbium 167,259	69 Tm thulium 168,9342	70 Yb ytterbium 173,054	71 Lu lutétium 174,9668
89 Ac actinium [227]	90 Th thorium 232,0381	91 Pa protactinium 231,0369	92 U uranium 238,0289	93 Np neptunium [237]	94 Pu plutonium [244]	95 Am américium [243]	96 Cm curium [247]	97 Bk berkelium [247]	98 Cf californium [251]	99 Es einsteinium [252]	100 Fm fermium [257]	101 Md mendelevium [258]	102 No nobélium [259]	103 Lr lawrencium [262]

## SYMBOLES

Ag  
Am  
Ar  
Ba  
Br  
C  
Cd  
Cl  
Co  
CO<sub>2</sub>  
Cs  
D  
F  
H  
I  
Ir  
Kr  
N  
Na  
NO<sub>2</sub>  
NO<sub>x</sub>  
Np  
K  
O  
Pu  
PuO<sub>2</sub>  
Ra  
Rb  
Rh  
Rn  
Ru  
SO<sub>2</sub>  
SO<sub>x</sub>  
Sr  
T  
Tc  
Th  
Tl  
U  
UF<sub>6</sub>  
UO<sub>2</sub>  
Xe

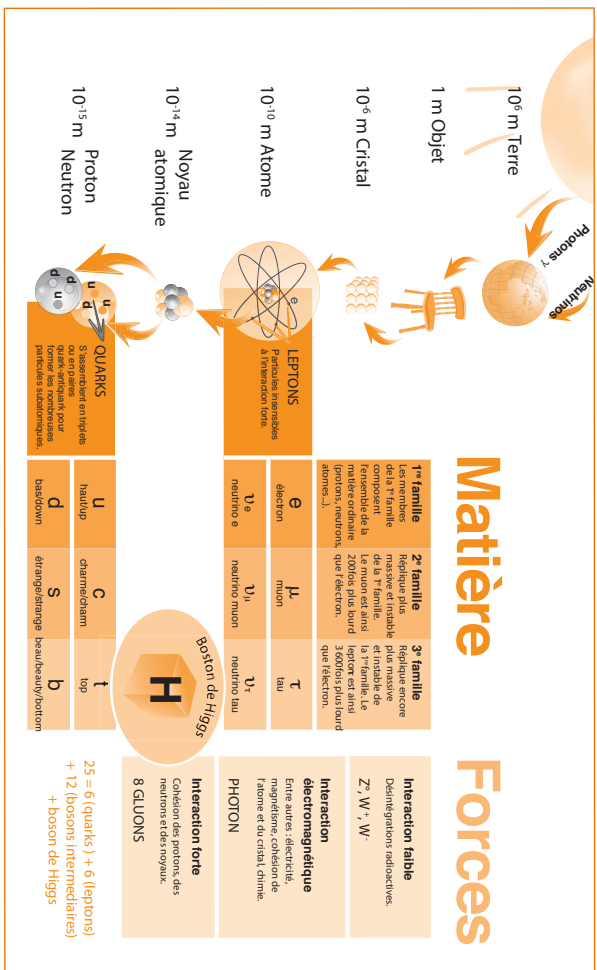
## ELEMENTS ET ISOTOPES

argent  
americium  
argon  
baryum  
brome  
carbone  
cadmium  
chlore  
cobalt  
dioxyde de carbone  
césium  
deutérium  
fluor  
hydrogène  
iode  
iridium  
krypton  
azote  
sodium  
dioxyde d'azote  
oxyde d'azote (en général)  
neptunium  
potassium  
oxygène  
plutonium  
dioxyde de plutonium  
radium  
rubidium  
rhodium  
radon  
ruthénium  
dioxyde de soufre  
oxyde de soufre (en général)  
strontium  
tritium  
technétium  
thorium  
thallium  
uranium  
hexafluorure d'uranium  
dioxyde d'uranium  
xénon



## Caractéristiques des particules élémentaires

### Characteristics of the elementary particles



## Période, radioactivité et utilisation des principaux isotopes

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

Z	Élément	État	Période	Alpha (MeV)	Bêta (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,
						1,333		médecine
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

## UNITES DE MESURE

	UNITÉ	VALEUR EN SYSTÈME INTERNATIONAL (SI)	SYMBOLE
longueur (L)	fermi	$10^{-15}$ m	fm
	angström	$10^{-10}$ m	Å
	micron	$10^{-6}$ m	$\mu$
	<b>mètre</b>	<b>1 m</b>	<b>m</b>
	mille nautique	1 852 m	
	unité astronomique	$1,496 \cdot 10^{11}$ m	u.a.
	année lumière	$9,461 \cdot 10^{15}$ m	a.l.
	parsec	$3,0857 \cdot 10^{16}$ m	pc
masse (M)	masse de l'électron dalton ou unité de masse atomique	$9,109558 \cdot 10^{-31}$ kg	
	carat métrique	$1,66 \cdot 10^{-27}$ kg	u.m.a.
	<b>kilogramme</b>	<b>1 kg</b>	<b>kg</b>
	quintal	100 kg	q
	tonne	1 000 kg	t
	masse solaire	$1,991 \cdot 10^{30}$ kg	M
	temps (T)	<b>seconde</b>	<b>1 s</b>
jour solaire moyen		86 400 s	j, d
jour sidéral		86 164,1 s	
température ( $\theta$ )	<b>kelvin</b>	<b>1 K</b>	<b>K</b>
	degré Celsius	1 K	°C
	électronvolt	11 605 K	eV
quantité de matière	<b>mole</b>	<b>1 mol</b>	<b>mol</b>
surface (L <sup>2</sup> )	barn	$10^{-28}$ m <sup>2</sup>	b
	are	100 m <sup>2</sup>	a
volume capacité (L <sup>3</sup> )	litre	$10^{-3}$ m <sup>3</sup>	l
	stère	1 m <sup>3</sup>	st
	baril de pétrole	$0,15898$ m <sup>3</sup>	
fréquence (T <sup>-1</sup> )	hertz	1 s <sup>-1</sup>	Hz
vitesse linéaire (LT <sup>-1</sup> )	nœud	$0,514$ ms <sup>-1</sup>	
accélération linéaire (LT <sup>-2</sup> )	gal	$0,01$ ms <sup>-2</sup>	
force (MLT <sup>-2</sup> )	dyne	$10^{-5}$ N	dyn
	newton	1 N	N
	kilogramme-force	9,81 N	kgf

énergie, travail	électronvolt	$1,602 \cdot 10^{-19}$ J	eV
quantité de chaleur ( $ML^2T^{-2}$ )	erg	$10^{-7}$ J	
	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 ( $ML^{-1}T^{-1}$ )	poise	0,1 PI	Po
	poiseuille	1 PI	PI
viscosité cinématique ( $L^2T^{-1}$ )	stokes	$10^{-4}$ m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	Sk
intensité électrique (I)	<b>ampère</b>	<b>1 A</b>	<b>A</b>
quantité d'électricité	franklin	$3,33564 \cdot 10^{-10}$ 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 farad	$1,112 \cdot 10^{-2}$ F	
	farad	1 F	F
conductance ( $M^{-1}L^{-2}T^3I^2$ )	siemens	1 S	S
inductance ( $ML^2T^{-2}I^{-2}$ )	centimètre henry	$10^{-9}$ H	cm
	henry	1 H	H

induction magnétique ( $MT^{-2}I^{-1}$ )	gauss tesla	$10^{-4}$ T 1 T	Gs, G T
flux d'induction magnétique ( $ML^2T^{-2}I^{-1}$ )	maxwell weber	$10^{-8}$ Wb 1 Wb	Mx Wb
moment magnétique ( $ML^3T^{-2}I^{-1}$ )	debye	$3,355 \cdot 10^{-30}$ Cm	D
intensité lumineuse ( $I_e$ )	<b>candela</b>	<b>1 cd</b>	<b>cd</b>
luminance ( $L^{-2}I_e$ )	nit stilb	1 nit $10^4$ nit	nit sb
éclairage ( $L^{-2}I_e$ )	lux phot	1 lx $10^4$ lx	lx ph
flux lumineux ( $I_e$ )	lumen	0,00147 W (à 5 550 Å)	lm
vergence ( $L^{-1}$ )	dioptrie	$1 m^{-1}$	$\delta$
radioactivité (activité)	becquerel curie	1 Bq $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq (désintégrations par seconde)	Bq Ci
radioactivité (dose)	röntgen rad gray	$2,58 \cdot 10^{-4}$ C/kg $10^{-2}$ Gy 1 Gy	R rad Gy
information	bit	unité élémentaire de quantité d'information	
débit d'information	baud	1 bit par seconde	
atténuation	bel neper		B Np
angle plan arc	seconde minute grade degré radian	$4,845 \cdot 10^{-6}$ rad $2,9 \cdot 10^{-4}$ rad 0,0157079 rad 0,0174533 rad 1 rad	" ' gr, G ° rad
angle solide	stéradian spat	1 sr $4\pi$ sr	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	$10^{18}$	E	déci	$10^{-1}$	d
péta	$10^{15}$	P	centi	$10^{-2}$	c
téra	$10^{12}$	T	milli	$10^{-3}$	m
giga	$10^9$	G	micro	$10^{-6}$	$\mu$
méga	$10^6$	M	nano	$10^{-9}$	n
kilo	$10^3$	k	pico	$10^{-12}$	p
hecto	$10^2$	h	femto	$10^{-15}$	f
déca	$10^1$	da	atto	$10^{-18}$	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	$\text{ms}^{-1}$	(par définition)
perméabilité du vide	$\mu_0$	$4\pi 10^{-7}$ $= 12,566 370 614\dots$	$\text{NA}^{-2}$ $10^{-7} \text{NA}^{-2}$	(calculé)
permittivité du vide	$\epsilon_0$	$1/\mu_0 c^2$ $= 8,854 187 817\dots$	$10^{-12} \text{Fm}^{-1}$	(calculé)
constante de gravitation	$G$	6,672 59 (85)	$10^{-11} \text{m}^3\text{kg}^{-1}\text{s}^{-2}$	128
constante de Planck	$h$	6,626 075 5 (40)	$10^{-34} \text{Js}$	0,60
$h/2\pi$	$\hbar$	1,054 572 66 (63)	$10^{-34} \text{Js}$	0,60
charge élémentaire	$e$	1,602 177 33 (49)	$10^{-19} \text{C}$	0,30
flux magnétique, $h/2e$	$\Phi_0$	2,067 834 61 (61)	$10^{-15} \text{Wb}$	0,30
masse de l'électron	$m_e$	9,109 389 7 (54)	$10^{-31} \text{kg}$	0,59
masse du proton	$m_p$	1,672 623 1 (10)	$10^{-27} \text{kg}$	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)	$10^{-3}$	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)	$\text{m}^{-1}$	0,0012
nombre d'Avogadro	$N_A, L$	6,022 136 7 (36)	$10^{23} \text{mol}^{-1}$	0,59
constante de Faraday, $N_A e$	$F$	96 485,309 (29)	$\text{Cmol}^{-1}$	0,30
constante des gaz parfaits	$R$	8,314 510 (70)	$\text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$	8,4
Constante de Boltzmann, $R/N_A$	$k$	1,380 658 (12)	$10^{-23} \text{JK}^{-1}$	8,5
Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma$	5,670 51 (19)	$10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$	34
Autres unités non SI complémentaires				
électronvolt, $(e/C)\text{J} = \{e\}\text{J}$	eV	1,602 177 33 (49)	$10^{-19} \text{J}$	0,30
unité de masse atomique	u	1,660 540 2 (10)	$10^{-27} \text{kg}$	0,59
$1 \text{u} = m_u = 1/12 m(^{12}\text{C})$				

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 de la recherche, du développement et de l'innovation, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives a quatre grandes missions : les énergies nucléaire et renouvelables, la recherche technologique pour l'industrie, la défense et la sécurité globale, la recherche fondamentale en sciences de la matière et en sciences du vivant. Il participe également à la conception, au suivi et à l'exploitation des Très grandes infrastructures de recherche (TGIR).

Le CEA est implanté sur 10 centres répartis dans toute la France. Il développe de nombreux partenariats avec les autres organismes de recherche, les collectivités locales et les universités. A ce titre, le CEA est partie prenante des alliances nationales coordonnant la recherche française dans les domaines de l'énergie (ANCRE), des sciences de la vie et de la santé (AVIESAN), des sciences et technologies du numérique (ALLISTENE), des sciences de l'environnement (AllEnvi) et des sciences humaines et sociales (ATHENA).

Reconnu comme un expert dans ses domaines de compétences, le CEA est pleinement inséré dans l'espace européen de la recherche et exerce une présence croissante au niveau international. Il 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 cinq grands axes :

#### Au service de la Défense nationale

Le CEA mène ses recherches dans le cadre du programme de dissuasion nucléaire français. La mission nucléaire de défense fait l'objet d'une programmation à 15 ans, qui s'inscrit dans une vision à 30 ans de la Défense nationale, décidée par le Président de la République. Elle est encadrée par la Loi de programmation militaire. Par ailleurs, qu'il s'agisse de lutte contre le terrorisme, de cybersécurité ou de capacité d'alerte en cas de séisme et de tsunami, il apporte les technologies qui permettent d'affronter les risques émergents et de renforcer la sécurité.

#### Les énergies nucléaire et renouvelables

Acteur de référence des recherches sur l'énergie, le CEA mobilise son expertise et ses compétences pluridisciplinaires pour proposer des solutions technologiques innovantes en réponse aux grands défis de notre société, tels que la transition énergétique, les énergies nucléaire et renouvelables, la compréhension des mécanismes du changement climatique. Il apporte aux pouvoirs publics et aux industriels les éléments d'expertise et d'innovation pour permettre une production d'électricité nucléaire durable, sûre et économiquement compétitive, et contribue aux politiques nationale et internationale de sécurité nucléaire. Il développe aussi une stratégie de recherche sur le système énergétique portant à la fois sur les moyens de production d'électricité, nucléaire et renouvelable (solaire), sur l'amélioration de l'efficacité énergétique et sur les moyens d'adaptation dynamique entre l'offre et la demande, par le stockage d'énergie (batteries), l'utilisation du vecteur hydrogène ou les réseaux intelligents.

### Recherche technologique pour l'industrie

Le CEA contribue, au service de la compétitivité de la France, au développement technologique, notamment numérique, pour répondre aux besoins de la recherche, de l'industrie et de la société, au transfert de connaissances, de compétences et de technologies vers l'industrie, à la valorisation des résultats de ses recherches. En lien étroit avec la recherche académique et le monde industriel, le CEA soutient les industriels et la création d'entreprises de technologies innovantes. Possédant un savoir-faire unique issu d'une culture de l'innovation, il a pour mission de produire et diffuser des technologies, en assurant un « pont » entre le monde scientifique et le monde économique. En étroite collaboration avec les acteurs locaux, CEA Tech dispose de plates-formes de transfert technologique (PRTT) dans les régions Occitanie (Toulouse), Nouvelle Aquitaine (Bordeaux), Pays de la Loire (Nantes), Grand Est (Metz), Hauts-de-France (Lille) et renforce ses activités en Provence Alpes-Côte d'Azur.

Dans le secteur de la santé, le CEA participe aux progrès considérables de la biologie et de la génomique, aux avancées des technologies de l'imagerie et des dispositifs médicaux, et se prépare à l'exploitation statistique des données massives. Le croisement des biotechnologies, des nanotechnologies et du numérique prépare la médecine du futur, qui deviendra personnalisée, ambulatoire et moins invasive.

### Recherche fondamentale

Le CEA s'appuie sur une recherche fondamentale dynamique en sciences de la matière et en sciences du vivant, tant en interne que sous forme de nombreux partenariats avec les autres organismes de recherche, les collectivités locales et les universités.

### Les Très grandes infrastructures de recherche (TGIR)

La conception et l'exploitation des Très grandes infrastructures de recherche sont une compétence reconnue du CEA, en France comme à l'international.

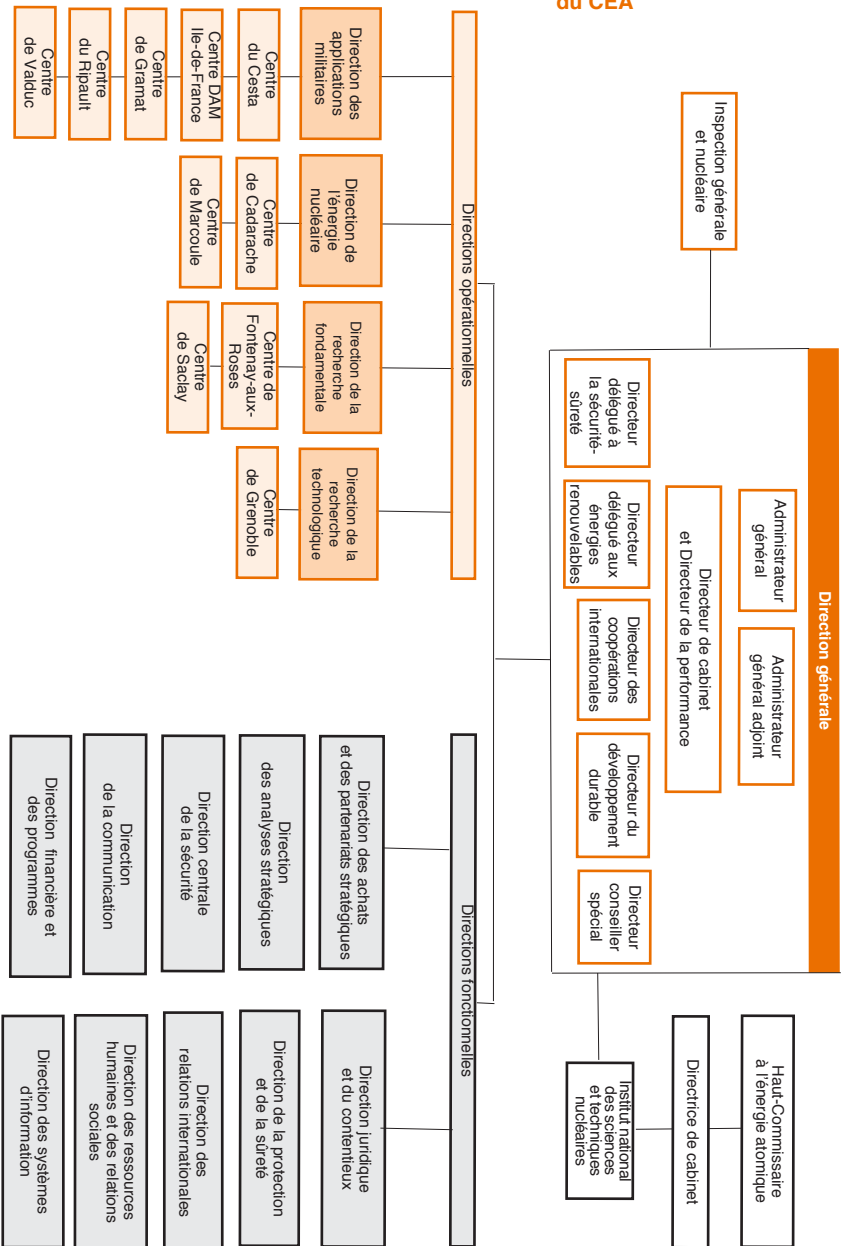
L'astrophysique et la physique des particules sont deux domaines où il est particulièrement présent, avec respectivement les grands instruments d'observation, au sol ou dans l'espace, et le LHC (Large Hadrons Collider à Genève) ou le Ganil (Grand accélérateur national d'ions lourds, à Caen).

La simulation numérique (supercalculateur Curie, en projet), l'étude de la matière (synchrotrons), la physique des lasers (laser Mégajoule), la physique des plasmas, font également l'objet de grands projets collaboratifs autour de TGIR, auxquels le CEA apporte son expertise.

Cela suppose des programmes de recherche tant pour la conception des infrastructures (cryotechnologies, instrumentation, développement de matériaux...) que pour l'analyse des données qui en sont issues.

Pour ces projets souvent montés grâce à des coopérations internationales, le CEA a, aux côtés du CNRS, un rôle de représentation de la France.

# Organigramme du CEA



## Pour plus d'informations sur le CEA

Siège social :

CEA

Bâtiment Le ponant D

25 rue Leblanc

75015 PARIS

tél : 01 64 50 20 60

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

### Les centres de recherche du CEA

• **CEA - Centre de Cadarache**

13108 Saint-Paul-lez-Durance cedex

tél : 04 42 25 70 00

• **CEA - Centre du Cesta**

BP 2

33114 Le Barp

tél : 05 57 04 40 00

• **CEA - Centre DAM-Ile-de-France**

BP 12 - Bruyères-le-Châtel

91297 Arpajon cedex

tél : 01 69 26 40 00

• **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

• **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 Marcoule**

BP 171

30207 Bagnols-sur-Cèze cedex

tél : 04 66 79 60 00

• **INES** (Institut national de l'énergie solaire)

50 Avenue du Lac Léman

73375 Le Bourget-du-Lac

04 79 79 20 00

[www.ines-solaire.org](http://www.ines-solaire.org)

• **INSTN** (Institut national des sciences et techniques nucléaires)

91191 Gif-sur-Yvette cedex

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

• **IE2N** (Institut international de l'énergie nucléaire)

91191 Gif-sur-Yvette cedex

### Les institutionnels

- **AEN** (Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire)  
2, rue André Pascal  
75775 Paris cedex 16  
tél : 01 45 24 82 00  
[www.nea.fr](http://www.nea.fr)
- **AIEA** (Agence internationale de l'énergie atomique)  
WAGRAMERSTRASSE 5  
BP 100  
A - 1400 Vienne  
AUTRICHE [43] (1) 2060  
[www.iaea.org](http://www.iaea.org)
- **Andra** (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs)  
Parc de la Croix Blanche - 1-7, rue Jean Monet  
92298 Chatenay-Malabry cedex  
tél : 01 46 11 80 00  
[www.andra.fr](http://www.andra.fr)
- **ASN** (Autorité de sûreté nucléaire)  
6, place du Colonel Bourgoïn  
75572 Paris Cedex 12  
[www.asn.gouv.fr](http://www.asn.gouv.fr)
- **DGEC** (Direction générale de l'énergie et du climat)  
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 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)

- **EDF**

22, avenue Wagram  
75008 Paris  
tél : 01 40 42 22 22  
[www.edf.fr](http://www.edf.fr)

## 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)

- **SFEN** (Société française de l'énergie nucléaire)

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  
75737 Paris cedex 15  
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
- **IFPEN** (Institut français du pétrole - Energies nouvelles)  
232, avenue Napoléon Bonaparte  
92852 Rueil-Malmaison Cedex - France  
[www.ifpenergiesnouvelles.fr](http://www.ifpenergiesnouvelles.fr)
- **OPECST** (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")
- **ANCRE** (Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie)  
1-4, avenue du Bois Préau  
92852 Rueil-Malmaison  
[www.allianceenergie.fr](http://www.allianceenergie.fr)

### **Les industriels**

- **Charbonnage de France**  
100, avenue Albert 1er  
92503 Rueil Malmaison  
tél : 01 47 52 35 00  
[www.groupecharbonnages.fr](http://www.groupecharbonnages.fr)
- **Engie**  
23 rue Philibert Delorme  
75840 Paris cedex 13  
[www.engie.com](http://www.engie.com)

## Publications périodiques du CEA

- Clefs CEA (semestriel)
- Les Défis du CEA (mensuel)
- Rapport d'activités (annuel)
- Mémento sur l'énergie (annuel)
- Elecnucl - Les centrales nucléaires dans le monde (annuel)
- Collection de livrets thématiques du CEA traitant de :
  - 1 - l'atome,
  - 2 - la radioactivité,
  - 3 - l'homme et les rayonnements,
  - 4 - l'énergie,
  - 5 - l'énergie nucléaire,
  - 6 - les réacteurs nucléaires,
  - 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,
  - 19 - énergies du XXI<sup>e</sup> siècle,
  - 20 - la chimie pour l'énergie.

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)



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 des analyses stratégiques

Bâtiment 524 - 91191 Gif sur Yvette

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

ISSN - 1280-9039

Imprimé sur papier ECF