

# MÉMENTO SUR L'ÉNERGIE

*Energy handbook*

édition  
**2017**

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



# MÉMENTO SUR L'ÉNERGIE 2017

**L**a version 2017 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 " Elec nuc " 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 : [elvire.leblanc@cea.fr](mailto:elvire.leblanc@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 50,6 et 52,5 fois la production mondiale de 2016, comparativement à 114 fois pour le charbon (page 11).
- 2 - Evolution des besoins en énergie primaire : croissance de 1,7 %/an en moyenne dans le monde ces dernières années (1990-2015) dont forte croissance au Moyen-Orient (4,9 %) et dans les pays en développement (ex : 4,0 % par an en Inde et 4,8 % en Chine) mais une stabilisation dans l'Union européenne sur la période (page 18). Selon le scénario de référence développé par l'AIE (page 19), la croissance se prolongerait mais à un rythme un peu moindre d'ici 2030.
- 3 - Part des énergies dans les besoins finaux en 2014 : domination toujours très forte des combustibles fossiles dans la consommation finale d'énergie (66 % 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 (11 %) (page 21). D'ici 2030, l'AIE retient dans son scénario 2016 une situation semblable hormis pour l'électricité qui passerait à 21 % au détriment du pétrole, et de la biomasse (page 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 24,7 % entre 1973 et 2016, page 26) est attendue dans de nombreux pays en développement.
- 4 - Consommation d'électricité : la consommation par habitant montre de fortes disparités dans le monde, entre 566 kWh/an pour toute l'Afrique, 4 057 kWh/ an en Chine et 12 833 kWh/an aux Etats-Unis (page 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 1,9 % par an dans le monde (page 35) à comparer avec 1 % pour la demande finale totale d'énergie d'après l'AIE (page 21).
- 5 - Part des énergies dans la production mondiale d'électricité (page 33) : le charbon domine avec 39 % de la production ; il est suivi par le gaz naturel, l'hydraulique et le nucléaire avec respectivement 22,9 %, 16,0 % et 10,6 %. Dans l'Union européenne, le nucléaire devance désormais de peu le charbon (respectivement 26,8 % et 25,8 %), excepté en France où il est largement dominant (77,6 %). Le scénario 2015 de l'AIE retient à partir de 2020 (page 35) un quasi-maintien de la part du nucléaire dans la production mondiale à 11 % malgré une croissance en valeur absolue.
- 6 - Energies renouvelables dans la production électrique : hors hydraulique, faible part dans le total des capacités installées mais croissance rapide et désormais position notable en valeurs absolues (pages 12-13-14 et 31). Ainsi, les capacités PV qui augmentent rapidement atteignent 303 GW crête en 2016, il en est de même pour les capacités éoliennes qui atteignent 487 GWe. L'hydraulique a produit 16,0 % de l'électricité mondiale en 2015, les autres énergies renouvelables 7,1 % (page 33).
- 7 - Gaz à effet de serre : Le CO<sub>2</sub> issu de la combustion des énergies fossiles est le premier contributeur des émissions (65 % voir page 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 2012 (9,1 GtCO<sub>2</sub>), suivi par les Etats-Unis (5,2 GtCO<sub>2</sub>, voir page 70). Depuis 1990, les émissions mondiales ont augmenté de plus de 57 % (page 73).
- 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 2015 (page 82). En 2016, le prix moyen de l'électricité facturé pour les industries (resp. ménages) de taille moyenne dans l'Union européenne était de 81,4 €/ MWh (resp. 205,2), allant de 60,2€ pour le Danemark (resp. 95,6 pour la Bulgarie) à 142,2 € pour Malte (resp. 308,8 pour le Danemark (page 79-80).

## SOMMAIRE

pages

<b>ÉNERGIE - UNITÉS ET FACTEURS DE CONVERSION</b>	
<b>RESSOURCES, CONSOMMATION ET PRODUCTION</b>	<b>5</b>
<b>RESOURCES, CONSUMPTION AND PRODUCTION</b>	
<b>TABLEAUX DE CONVERSION</b>	
Principales unités d'énergie	6
Main energy units	
Principales unités de puissance	6
Main power units	
Unités de volume métriques et anglo-saxonnes	6
Anglo-saxon and metric units conversion	
Unités usuelles pour l'uranium	7
Common units for uranium	
Table de conversion pour les composés de l'uranium	7
Conversion table for uranium compounds	
Pouvoir calorifique inférieur des charbons	8
Lower calorific value for coals	
Pouvoir calorifique moyen du bois (PCI)	8
Comparaison biocarburant - carburant d'origine pétrolière	8
Données de base sur l'hydrogène	8
Basic data about hydrogen	
France : comptabilité de l'énergie primaire	9
France: primary energy accountancy	
Équivalence énergétique de l'uranium naturel	10
Energy equivalence for natural Uranium	
Équivalence énergétique des combustibles fossiles	10
Energy equivalence for fossil fuels	
<b>RESSOURCES</b>	
Monde : réserves prouvées en énergies fossiles par zone géographique fin 2016	11
World: proved reserves of fossil fuels per geographical area at end 2016	
Monde : réserves d'uranium les plus importantes	12
World: most important uranium reserves	
Evolution de la capacité installée mondiale d'origine renouvelable	12
Renewable installed world capacity evolution	
Europe : capacité installée et production d'électricité d'origine éolienne et photovoltaïque dans les pays de l'UE	13
Europe: electricity production and installed capacity from wind and photovoltaic in the EU	
Europe : puissance éolienne offshore installée dans les pays de l'UE	14
Europe: installed capacity for offshore wind power in the EU countries	
Potentiel de biomasses en France	14
Description de la forêt en France	15
Usage du bois	15
Production mondiale de biocarburants (2015)	15
<b>CONSOMMATION</b>	
Scénario d'évolution de la population mondiale	15
Scenario of evolution of world population	
Monde : données générales pour 2015	16
World: general data for 2015	
Monde : approvisionnement total en énergie primaire	18
World: total primary energy supply	
Monde : scénario de référence pour l'approvisionnement en énergie primaire	19
World: reference scenario for primary energy supply	
Monde : consommation finale d'énergie en 2015	2
World: final consumption of energy for 2015	
Monde : scénario de référence pour la consommation finale d'énergie	21
World: reference scenario for final consumption of energy	
Europe : données générales pour 2015	22
Europe: general data for 2015	
Europe : consommation de biocarburants destinés au transport dans l'UE en 2016	24
Europe: biofuel consumption for transport in the European Union in 2016	
Consommation d'électricité par habitant	25
Electricity consumption per head	

Consommation finale d'énergie par unité de PIB	25
Final energy consumption per GDP unit	
France : consommation d'énergie primaire (corrigée du climat) par énergie	26
France: primary energy consumption (corrected for climate) by energy	
France : consommation d'énergie finale (corrigée du climat) par énergie	26
France: final energy consumption (corrected for climate) by energy	
France : consommation d'énergie finale (corrigée du climat) par secteur	27
France: final energy consumption (corrected for climate) by sector	
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 2014	31
World: 2014 electricity installed capacities	
Production d'électricité d'origine nucléaire par pays fin 2016	32
Electricity generation from nuclear power plants by country at the end of 2016	
Monde : production d'électricité par source en 2015	33
World: electricity generation by fuel for 2015	
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 2015 et objectifs 2020	37
Europe: share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy in 2015 and national overall targets in 2020	
Sources de chaleur utilisées dans le secteur résidentiel en Europe	38
Heating sources in residential buildings	
Sources de chaleur fournies aux réseaux de chaleur de l'Union européenne en 2014	38
Heat supply into all DH systems in the EU according to four heat supply methods in 2014	
France : production primaire d'énergies renouvelables	39
France: renewable energy production	
France : bilan électrique	39
France: electricity balance	
France : échanges contractuels transfrontaliers d'électricité en 2016	40
France: cross-border contractual electricity exchanges in 2016	
Puissances maximales appelées par le réseau en France	40
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 01/01/2017	44
Nuclear power plants in France - Status as of 2017/01/01	
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
The fast neutron reactor as an actinide incinerator	46
<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
<i>World: Uranium requirements</i>	
Définition de l'UTS	49
Monde : capacité nominale d'enrichissement de l'uranium	49
<i>World: Uranium enrichment capacity</i>	
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
<i>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</i>	
Les procédés d'enrichissement isotopique de l'uranium	50
Fabrication de combustible : besoins et capacités de production dans l'OCDE	50
<i>Fuel manufacture: requirements and capacities in OECD countries</i>	
Usines de traitement des combustibles usés	50
<i>Used fuel reprocessing units</i>	
Les déchets produits en France	51
Classification des déchets	51
<i>Waste classification</i>	
La gestion des déchets radioactifs	53
Principaux éléments contenus dans les combustibles usés	54
<i>Main elements comprised in used fuel</i>	
Déchets ultimes issus du traitement du combustible d'un REP 1000 MWe	55
<i>Ultimate waste from fuel reprocessing for a 1000 MWe PWR unit</i>	
Effluents annuels dus au traitement du combustible d'un REP 1000 MWe	55
<i>Waste generated annually by reprocessing the fuel of a 1000 MWe PWR unit</i>	
Effluents et déchets produits en 1996 par les centrales nucléaires en France	55
<i>Total amount of waste generated by the French nuclear power plants in 1996</i>	
Volumes de résidus générés dans UP3	56
<i>Volume of waste generated in the UP3 reprocessing plant</i>	
<b>INFORMATIONS GÉNÉRALES</b>	<b>57</b>
<i>Generalities</i>	
<b>L'HOMME ET LES RAYONNEMENTS</b>	
Quelques définitions	58
Grandeurs et unités propres aux rayonnements ionisants	59
<i>Physical units for ionizing radiation</i>	
Décroissance de la radioactivité d'un radioélément, vie moyenne, période	59
<i>Radioactive decay, mean life, half life</i>	
Périodes effectives de quelques corps radioactifs	60
<i>Effective half life for some radioelements</i>	
Pouvoir de pénétration des rayonnements ionisants	
<i>Radiation ionizing stopping power</i>	60
Expositions aux rayonnements ionisants en France (hors activités professionnelles)	61
<i>Ionizing radiation exposure in France (other than occupational)</i>	
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
<i>World average exposure from natural sources</i>	
L'activité radioactive, exemples	64
<i>Examples of natural or human generated activity</i>	
<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
Évolution des concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre au cours du temps (GIEC 2007)	67
<i>History of Greenhouse gas atmospheric rate</i>	

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 2014	70
The biggest CO <sub>2</sub> emitters in 2014	
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> liées à la combustion	73
World: evolution of CO <sub>2</sub> emissions from fuel combustion	
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 2016	79
Prix TTC de l'électricité pour les industries de taille moyenne - Année 2016	80
France : Contribution Climat Energie ou taxe Carbone	80
Exemples de prix moyens des énergies en France	81
Examples of average prices of energy in France	
France : prix de l'uranium (moyenne zone Euratom)	82
France: Uranium prices (Euratom average)	
France : prix CAF des énergies importées	82
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>	<b>93</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

## **ÉNERGIE**

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

**RESOURCES, CONSUMPTION AND PRODUCTION**

## TABLEAUX DE CONVERSION

### Principales unités d'énergie

#### Main energy units

	Abréviation	Joule <sup>(1)</sup>	Thermie <sup>(2)</sup>	British Thermal Unit <sup>(3)</sup>	Kilowatt-heure
1 joule	J	1	$2,389.10^{-7}$	$9,479.10^{-4}$	$2,778.10^{-7}$
1 thermie	th	$4,186.10^6$	1	$3,968.10^{-3}$	1,163
1 British Thermal Unit	Btu	$1,055.10^3$	$2,520.10^{-4}$	1	$2,930.10^{-4}$
1 kilowatt-heure	kWh	$3,600.10^6$	$8,600.10^{-1}$	$3,413.10^3$	1

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

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

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

### Principales unités de puissance

#### Main power units

	Erg/sec	Watt	MW	Btu/heure	Cheval vapeur
Erg/sec	1	$10^{-7}$	$10^{-13}$	$3,414.10^{-7}$	$1,3595.10^{-10}$
Watt	$10^7$	1	$10^{-6}$	3,414	$1,3595.10^{-3}$
MW	$10^{13}$	$10^6$	1	$3,414.10^6$	$1,3595.10^{13}$
Btu/heure	$2,929.10^6$	0,2929	$292,9.10^{-9}$	1	$0,3982.10^{-3}$
Cheval vapeur	$7,355.10^9$	735,5	$735,5.10^{-6}$	2 511	1

### Unités de volume métriques et anglo-saxonnes

#### Anglo-saxon and metric units conversion

	Litre (l)	Mètre cube (m <sup>3</sup> )	Petroleum barrel	U.S. gallon	Imperial U.K. gallon	U.S. quart
1 litre	1	$10^{-3}$	$6,290.10^{-3}$	$2,642.10^{-1}$	$2,200.10^{-1}$	1,057
1 mètre cube	$1,000.10^3$	1	6,290	$2,642.10^2$	$2,200.10^2$	$1,057.10^3$
1 Petroleum barrel	$1,590.10^2$	$1,590.10^{-1}$	1	$4,200.10^1$	$3,497.10^1$	$1,680.10^2$
1 U.S. gallon	3,785	$3,785.10^{-3}$	$2,381.10^{-3}$	1	$8,327.10^{-1}$	4,000
1 U.K. imperial gallon	4,546	$4,546.10^{-3}$	$2,860.10^{-2}$	1,201	1	4,804
1 U.S. quart	$9,463.10^{-1}$	$9,463.10^{-4}$	$5,942.10^{-3}$	$2,500.10^{-1}$	$2,082.10^{-1}$	1

Unités usuelles pour l'uranium  
Common units for uranium

	kg U	lb U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Short Ton U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
1 kg U	1	2,5998	1,2999.10 <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 (2017, memento 2017)

## 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 Observatoire de l'énergie decided to adopt the method used by the international organizations (IEA, Eurostat...). This changes the electricity conversion factor (from kWh to ton of oil equivalent) and international marine bunkers.

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

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur NCV: Net Calorific Value

PCS : Pouvoir Calorifique Supérieur GCV: Gross Calorific Value

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

## Équivalence énergétique de l'uranium naturel

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

- du taux de rejet de l'uranium appauvri lors de la phase d'enrichissement (plus ce taux est faible, mieux on tire parti de la composante U235). Le choix du taux de rejet résulte d'un compromis entre le prix de l'uranium et celui de l'UTS (unité de travail de séparation, voir p. 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> (hydraulique)	0,26 tep <sup>(4)</sup> (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 2016  
World: proved reserves of fossil fuels per geographical area at end 2016

2016	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	226 906	32 469	259 375	356
Amérique centrale et du Sud South and Central America	8 943	5 073	14 016	138
Total Europe et Eurasie Europe & Eurasia total	153 283	168 841	322 124	284
Afrique et Moyen-Orient Africa and Middle East	14 354	66	14 420	54
Asie / Pacifique Asia / Pacific	412 728	116 668	529 396	102
<b>Total Monde World total</b> dont OCDE of which OECD	<b>816 214</b> 319 878	<b>323 117</b> 177 264	<b>1 139 331</b> 497 142	<b>153</b> 291

\* Reserves / production 2016

Source : BP Statistical Review of World Energy, juin 2017

2016	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	34,5	32,3	11,1	11,7
Amérique centrale et du Sud South and Central America	50,8	>100	7,6	42,9
Total Europe et Eurasie Europe & Eurasia total	21,8	24,9	56,7	56,3
Afrique Africa	16,9	44,3	14,3	68,4
Moyen-Orient Middle East	110,1	69,9	79,4	>100
Asie / Pacifique Asia / Pacific	6,4	16,5	17,5	30,2
<b>Total Monde World total</b> dont OCDE of which OECD	<b>240,7</b> 36,6	<b>50,6</b> 28,8	<b>186,6</b> 17,8	<b>52,5</b> 13,9

\* Reserves / production 2016

Source : BP Statistical Review of World Energy, juin 2017

## Monde : réserves d'uranium les plus importantes

World: most important uranium reserves

01/01/2015	Réserves raisonnablement assurées milliers tonnes U (<130\$/kgU) Thousand tons U	Réserves supplémentaires présumées milliers tonnes U (<130\$/kgU) Thousand tons U	Production 2014 milliers tonnes U Thousand tons U
Australie <i>Australia</i>	1 688	529	5
Canada	486	135	9
Afrique du Sud <i>South Africa</i>	338	85	<0,5
Kazakhstan	309	469	22
Niger	286	56	4
Fédération de Russie <i>Russian Federation</i>	285	279	3
Namibie <i>Namibia</i>	252	77	3
Brésil <i>Brazil</i>	210	121	<0,5
Chine <i>China</i>	173	144	1
Mongolie <i>Mongolia</i>	144	33	0
Ukraine	95	33	1
Etats-Unis <i>United States</i>	86	-	2
<b>Total Monde <i>World total</i></b>	<b>4 684</b>	<b>2 260</b>	<b>56</b>
dont OCDE <i>of which OECD</i>	2 317	686	16

Source : Uranium 2016, Resources, Production and Demand, AEN, éd 2016

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

Renewable installed world capacity evolution

Monde <i>World</i>	Source	1995	2000	2005	2010	2012	2014	2016
Puissance éolienne installée cumulée (GW)* <i>Cumulative wind installed capacity (GW)*</i>	GWEC (Global Wind Energy Council)	5	17	59	194	282 (dont 5,4 offshore)	370 (> 8,5 GW offshore)	487 (14,4 GW offshore)
Puissance PV installée cumulée (GWc) <i>Cumulative PV installed capacity (GWc)</i>	EPIA	1	1	5	41	102	177	303
Puissance solaire thermique installée cumulée (GWth) <i>Cumulative solar thermal installed capacity (GWth)</i>	IEA	nd	nd	nd	196	275	406	456
Puissance géothermie installée (GW) <i>Cumulative geothermal installed capacity (GW)</i>	REN21	6,8*	8,0*	8,9*	11	11	12,8	13,5

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

GIA: Geothermal Implementing Agreement

Source : REN 21 2017 Report

## 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) fin 2015	Eolien (GWh) fin 2016**	Puissance éolienne cumulée installée dans l'UE fin 2015	Puissance éolienne cumulée installée dans l'UE fin 2016**	PV (GWh) 2015	PV (GWh) 2016**	Puissance photovolt. cumulée dans l'UE fin 2016**	Puissance photovolt. cumulée dans l'UE fin 2016**	Puissance photovolt. cumulée dans l'UE fin 2016**
	Wind at the end 2015	Wind at the end 2016**	Cumulated installed wind power in the EU end of 2015	Installed wind power in the EU end of 2016**	Solar 2015	Solar 2016**	Cumulated photovolt. capacity in the EU end of 2016**	Cumulated photovolt. capacity in the EU end of 2016**	Cumulated photovolt. capacity in the EU end of 2016**
							Réseau On grid	Hors réseau Off grid	Total
Allemagne Germany	79 206	79 800	44 942,0	50 019,0	38 726	38 171	41 275,0	65,0	41 340,0
Autriche Austria	4 840	5 700	2 404,0	2 632,0	937	1 077	1 071,6	5,5	1 077,1
Belgique Belgium	5 574	5 200	2 169,0	2 400,0	3 045	2 945	3 425,0	n.a.	3 425,0
Bulgarie Bulgaria	1 454	1 460	691,2	691,2	1 383	1 286	1 032,0	n.a.	1 032,0
Chypre Cyprus	221	226	157,5	157,5	126	94	53,8	1,1	54,9
Croatie Croatia	796	1 013	428,2	462,4	57	61	49,5	0,9	50,4
Danemark Denmark	14 133	12 782	5 075,0	5 242,0	604	858	855,8	2,5	858,3
Espagne Spain	49 325	50 157	22 987,8	23 026,0	8 266	7 948	4 669,0	132,2	4 801,2
Estonie Estonia	715	589	300,0	310,0	0	0	10,0	0,1	10,1
Finlande Finland	2 327	3 068	1 005,0	1 533,0	9	9	20,0	n.a.	20,0
<b>France*</b>	<b>21 249</b>	<b>20 700</b>	<b>10 324,0</b>	<b>11 670,0</b>	<b>7 748</b>	<b>8 790</b>	<b>7 134,2</b>	<b>30,6</b>	<b>7 164,8</b>
Grèce Greece	4 621	5 096	2 135,7	2 374,3	3 900	3 930	2 603,7	n.a.	2 603,7
Hongrie Hungary	693	700	329,0	329,0	123	174	276,0	12,0	288,0
Irlande Ireland	6 573	6 115	2 440,0	2 764,7	2	4	4,2	0,9	5,1
Italie Italy	14 844	17 455	8 972,8	9 255,4	22 942	22 545	19 261,1	13,0	19 274,1
Lettonie Latvia	147	150	69,0	69,0	0	0	1,5	0,0	1,5
Lituanie Lithuania	807	1 131	438,0	509,0	73	67	80,0	0,1	80,1
Luxembourg	102	108	63,8	100,0	104	98	122,6	0,0	122,6
Malte Malta	0	0	0,0	0,0	93	103	82,0	0,0	82,0
Pays-Bas Netherlands	7 591	8 343	3 391,0	4 179,5	1 122	1 530	2 040,0	n.a.	2 040,0
Pologne Poland	10 858	11 623	5 100,0	5 782,0	57	130	192,8	2,9	195,7
Portugal	11 608	12 560	5 034,0	5 269,0	799	816	465,0	5,0	470,0
Rep. Tchèque Czech Republic	573	497	280,6	280,5	2 264	2 128	2 047,0	0,4	2 047,4
Rep. Slovaque Slovak Republic	6	6	3,0	3,0	506	500	545,0	0,1	545,1
Roumanie Romania	7 045	6 725	2 975,9	3 028,0	1 982	1 845	1 371,1	0,0	1 371,1

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

Source : EurObserver 2017

## 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) fin 2015	Eolien (GWh) fin 2016**	Puissance éolienne cumulée installée dans l'UE fin 2015	Puissance éolienne installée dans l'UE fin 2016**	PV (GWh) 2015	PV (GWh) 2016**	Puissance photovolt. cumulée dans l'UE fin 2016**	Puissance photovolt. cumulée dans l'UE fin 2016**	Puissance photovolt. cumulée dans l'UE fin 2016**
	Wind at the end 2015	Wind at the end 2016**	Cumulated installed wind power in the EU end of 2015	Installed wind power in the EU end of 2016**	Solar 2015	Solar 2016**	Cumulated photovolt. capacity in the EU end of 2016**	Cumulated photovolt. capacity in the EU end of 2016**	Cumulated photovolt. capacity in the EU end of 2016**
							Réseau On grid	Hors réseau Off grid	Total
Royaume-Uni United Kingdom	40,310	37,251	14 291,0	15 030,0	7 561	10 292	11 562,2	n.a.	11 562,2
Slovénie Slovenia	0,006	0,006	5,0	5,0	274	300	259,0	0,1	259,1
Suède Sweden	16,268	14,200	6 029,0	6 519,0	97	115	140,9	12,6	153,5
<b>UE 28</b> <b>EU 28</b>	<b>301,892</b>	<b>302,661</b>	<b>142 041,5</b>	<b>153 640,5</b>	<b>102 800</b>	<b>105 816</b>	<b>100 650,0</b>	<b>285,0</b>	<b>100 935,0</b>

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

Source : EurObserver 2017

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

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

MW	Fin 2015 End of 2015	Fin 2016 End of 2016	MW	Fin 2015 End of 2015	Fin 2016 End of 2016
Royaume-Uni United Kingdom	5 103,5	5 093,5**	Suède Sweden	201,7	201,7
Allemagne Germany	3 284	4 108,3	Finlande Finland	32	32
Danemark Denmark	1 271,1	1 271,1	Irlande Ireland	25,2	25,2
Belgique Belgium	712,2	712,2	Espagne Spain	5	5
Pays-Bas Netherlands	357	957	Portugal Portugal	2	0
			<b>Total EU 28</b>	<b>10 993,7</b>	<b>12 406</b>

\* Et connectée au réseau. \*and connected to the grid. \*\* Donnée estimée. \*\* Estimated data.

Source : EurObserver 2017

## Potentails 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	32,3	0,0
Agriculture	résidus cultures annuelles	35 180,0	2 890,0
Agriculture	déchets cultures pérennes	940,0	nd
Agriculture	issus de silo	0,4	nd
Agriculture	effluents d'élevage	7 213,7	3 220,3
Forêt	forêts (hors peupleraies)	nd	460,4
Forêt	peupleraies	nd	16,9
IAA	coproduits	3 026,2	21,8
Urbain	déchets verts et urbains	13 498,8	44,7
	<b>Total</b>	<b>59 891,2</b>	<b>6 654,1</b>

Notes : IAA : industries agro-alimentaires - nd : non disponible ; fortes modifications des évaluations forestières par rapport à la version antérieure ; les données forestières sont ici restituées sous forme de moyenne

Source : d'après l'Observatoire national des ressources en biomasse - Evaluation des ressources disponibles en France - Edition 2016 - Les études de FranceAgriMer

## Description de la forêt en France

Surface totale en France (M ha) : 54,9

Forêt (M ha) : 16,9

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

Production biologique forestière : 91,5 Mm<sup>3</sup> dont 52,1 de feuillus, 36,9 de résineux et 2,5 de peupleraies en plein.  
66,7 Mm<sup>3</sup> proviennent de forêt privée.

Récolte de bois commercialisée en 2015 : 35,8 Mm<sup>3</sup> (sur écorce)

Dont 18,9 : bois d'œuvre

Dont 10,7 : bois d'industrie

Dont 7,8 bois énergie (plaquettes forestières : 2,9) dont 3,6 certifiée

La récolte de bois de feu en forêt est estimée à 21,5 Mm<sup>3</sup> (hors vergers, haies et alignements).

Source : Mémento FCBA 2017

## Production mondiale de biocarburants (2015) :

- Biodiesel : 32,4 milliards de litres (+ 7 % par rapport à 2014) dont 15 en Europe-EU 27 (+ 7 %) et 5 aux Etats-Unis (stable).

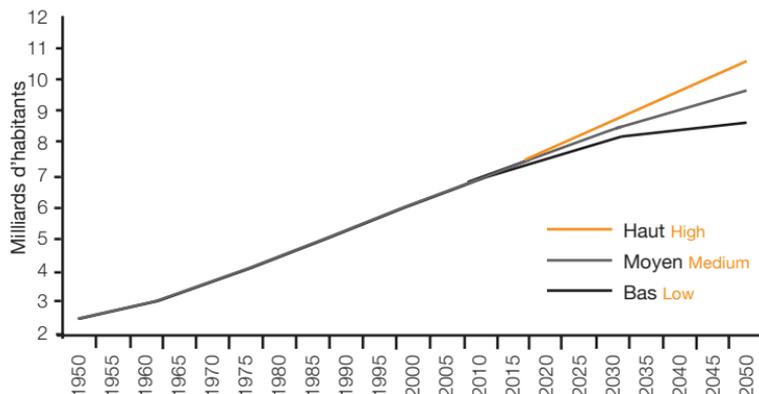
- Bioéthanol : 137 milliards de litres (+ 8 % par rapport à 2014) dont 66,7 et 34,5 Mds de litres pour, respectivement les Etats-Unis (+ 8%) et le Brésil (+ 11 %), 11 milliards de litres en Europe-EU 27 (+ 4 %, progression moins rapide que précédemment).

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 2015

World: General data for 2015

Année 2015 Year 2015	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)
Amérique OCDE <sup>(2)</sup> OECD America <sup>(2)</sup>	497	20 479	1 859	5 015
dont Etats-Unis of which USA	322	16 597	1 520	4 129
Amérique non OCDE Non OECD America	485	6 362	465	1 019
dont Brésil of which Brazil	208	2 960	227	523
Europe OCDE <sup>(3)</sup> OECD Europe <sup>(3)</sup>	566	19 934	1 202	3 351
Union européenne 28 European Union 28	510	17 701	1 114	3 041
<b>dont France</b> <b>of which France</b>	<b>67</b>	<b>2 456</b>	<b>148</b>	<b>468</b>
Non OCDE Europe et Eurasie <sup>(4)</sup> non OECD Europe and Eurasia <sup>(4)</sup>	341	5 421	701	1 551
Moyen-Orient Middle East	227	4 967	475	920
Afrique <b>Africa</b>	1 187	5 358	573	671
Asie <b>Asia</b>	3 817	35 196	3 151	7 990
dont : of which:				
Chine <b>China</b>	1 379	18 432	1 915	5 593
Inde <b>India</b>	1 311	7 365	578	1 127
Asie Océanie OCDE <sup>(5)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(5)</sup>	215	7 698	574	1 869
<b>Total Monde</b> <b>World Total</b>	<b>7 334</b>	<b>105 035</b>	<b>9 384</b>	<b>22 386</b>
dont OCDE of which OECD	1 277	47 731	3 636	10 234

(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, Paologne, 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, Kirgystan, 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, Kirgystan, 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 2017 World Energy Balances, Statistics, IEA, 2017 edition

Monde : données générales pour 2015 (suite)

World: General data for 2015

Année 2015 Year 2015	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\$2010) Final consumption of energy per GDP unit <sup>(6)</sup> (koe/thousand US\$2010)	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\$2010) Final consumption of electricity per GDP unit <sup>(7)</sup> (kWh/thousand US\$2010)
Amérique OCDE <sup>(2)</sup> OECD America <sup>(2)</sup>	3 742	91	10 098	245
dont Etats-Unis of which USA	4 725	92	12 833	249
Amérique latine Latin America	959	73	2 101	160
dont Brésil of which Brazil	1 092	77	2 517	177
Europe OCDE <sup>(3)</sup> OECD Europe <sup>(3)</sup>	2 126	60	5 925	168
Union européenne 28 European Union 28	2 185	63	5 967	172
dont France of which France	<b>2 223</b>	<b>60</b>	<b>7 044</b>	<b>191</b>
Non OCDE Europe et Eurasie <sup>(4)</sup> non OECD Europe and Eurasia <sup>(4)</sup>	2 056	129	4 548	286
Moyen-Orient Middle East	2 095	96	4 052	185
Afrique Africa	483	107	566	125
Asie Asia	826	90	2 093	227
dont : of which:				
Chine China	1 389	104	4 057	303
Inde India	441	78	859	153
Asie Océanie OCDE <sup>(5)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(5)</sup>	2 674	75	8 705	243
<b>Total Monde</b> <b>World Total</b>	<b>1 280</b>	<b>89</b>	<b>3 052</b>	<b>213</b>
dont OCDE of which OECD	2 848	76	8 016	214

(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, Kirgystan, 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

(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 2017 World Energy Balances, Statistics, IEA, 2017 edition

## Monde : approvisionnement total en énergie primaire \*

World: total primary energy supply \*

Mtep Mtoe	1990	2000	2010	2013	2014	2015	%/an %/year 1990-2015
Amérique OCDE <sup>(1)</sup> OECD America <sup>(1)</sup>	2 264	2 702	2 686	2 685	2 720	2 682	0,7
dont Etats-Unis of which USA	1 915	2 273	2 215	2 183	2 216	2 188	0,5
Amérique non OCDE Non OECD America	327	424	579	619	639	628	2,5
dont Brésil of which Brazil	140	187	266	294	303	298	2,9
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	1 619	1 748	1 820	1 737	1 674	1 706	0,2
Union européenne 28 European Union 28	1 645	1 695	1 725	1 626	1 565	1 586	-0,1
dont France of which France	<b>224</b>	<b>252</b>	<b>261</b>	<b>253</b>	<b>243</b>	<b>247</b>	<b>0,4</b>
Non OCDE Europe et Eurasie <sup>(3)</sup> non OECD Europe and Eurasia <sup>(3)</sup>	1 537	1 004	1 117	1 154	1 124	1 106	-1,3
Moyen-Orient Middle East	211	354	623	681	721	729	4,9
Afrique Africa	393	496	694	750	772	788	2,7
Asie Asia	1 576	2 187	4 155	4 681	4 807	4 756	4,3
dont : of which:							
Chine China	879	1 149	2 629	3 019	3 066	2 987	4,8
Inde India	306	441	693	776	825	851	4,0
Asie Océanie OCDE <sup>(4)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(4)</sup>	642	850	918	888	879	871	1,2
Soutes maritimes internationales International marine bunkers	116	155	207	191	195	205	2,2
Soutes aviation internationales International aviation bunkers	86	118	153	164	168	177	2,8
<b>Total Monde</b> <b>World Total</b>	<b>8 772</b>	<b>10 037</b>	<b>12 952</b>	<b>13 549</b>	<b>13 699</b>	<b>13 647</b>	<b>1,7</b>
dont OCDE of which OECD	<b>4 526</b>	<b>5 300</b>	<b>5 424</b>	<b>5 310</b>	<b>5 273</b>	<b>5 259</b>	<b>0,6</b>

(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, 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

\* 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 2017 - World Energy Balances, IEA, 2017 ed.

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

	1990		2014		2020		2030		2040	
	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%
Amérique OCDE <sup>(1)</sup> OECD America <sup>(1)</sup>	2 264	26	2 722	20	2 734	19	2 680	17	2 696	16
Amérique latine Latin America	327	4	639	5	646	5	747	5	890	5
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	1 631	19	1 697	13	1 690	12	1 601	10	1 540	9
UE 28 EU 28	1 643	19	1 563	12	1 547	11	1 441	9	1 360	8
Europe de l'Est/Eurasie <sup>(3)</sup> Eastern Europ / Eurasia <sup>(3)</sup>	1 539	18	1 101	8	1 120	8	1 189	8	1 271	7
Moyen-Orient Middle East	211	2	715	5	819	6	1 026	7	1 244	7
Afrique Africa	390	5	781	6	884	6	1 085	7	1 336	8
Asie non OCDE Non OECD Asia	1 578	18	4 809	35	5 398	38	6 488	41	7 437	43
dont : of which:										
Inde India	307	4	824	6	1 033	7	1 457	9	1 938	11
Chine China	879	10	3 070	23	3 328	24	3 728	24	3 892	23
Asie Océanie OCDE <sup>(4)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(4)</sup>	631	7	857	6	870	6	859	5	842	5
<b>Total</b>	<b>8 571</b>	<b>100</b>	<b>13 321</b>	<b>100</b>	<b>14 161</b>	<b>100</b>	<b>15 675</b>	<b>100</b>	<b>17 256</b>	<b>100</b>
dont OCDE of which OECD	4 526	53	5 276	40	5 293		5 140		5 077	29
<b>Monde World</b>	<b>8 774</b>	<b>100</b>	<b>13 684</b>	<b>100</b>	<b>14 576</b>	<b>100</b>	<b>16 185</b>	<b>100</b>	<b>17 865</b>	<b>100</b>
dont : of which:										
Charbon Coal	2 220	25	3 926	29	3 906	27	4 039	25	4 140	23
Pétrole Oil	3 237	37	4 266	31	4 474	31	4 630	29	4 775	27
Gaz Gas	1 663	19	2 893	21	3 141	22	3 686	23	4 313	24
Nucléaire Nuclear	526	6	662	5	796	5	1 003	6	1 181	7
Hydraulique Hydro	184	2	335	2	377	3	463	3	536	3
Bioénergie Bioenergy	907	10	1 421	10	1 543	11	1 721	11	1 863	11
Autres renouvelables Other renewables	37	0,4	181	1,3	339	2	643	4	1 037	6

\* 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) Union européenne 15, Hongrie, Islande, Norvège, Pologne, Rép. Tchèque, Rép. Slovaque, Suisse et Turquie - European Union, Hungary, Iceland, Norway, Poland, Czech Republic, Slovak Republic, Switzerland and Turkey

(3) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie - Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgystan, 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, 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

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 2016, AIE - World Energy Outlook 2016, IEA

## Monde : consommation finale d'énergie en 2015

World: final consumption of energy for 2015

(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>	26	934	396	3	98	6	396	1 857
dont Etats-Unis of which USA	20	757	333	3	76	5	325	1 520
Amérique non OCDE Non OECD America	11	217	62	1	91	-	83	465
dont Brésil of which Brazil	8	103	13	1	61	-	42	227
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	46	647	256	6	86	47	261	1 202
Union européenne 28 European Union 28	36	465	241	nd	nd	nd	236	1 114
dont France of which France	<b>3</b>	<b>67</b>	<b>27</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>37</b>	<b>148</b>
Europe non OCDE et Eurasie <sup>(3)</sup> Non OECD Europe and Eurasia <sup>(3)</sup>	34	203	213	0	16	129	105	701
Moyen-Orient Middle East	3	228	172	0	1	-	72	475
Afrique Africa	20	154	34	0	312	-	53	573
Asie Asia	865	921	202	27	436	84	616	3 151
dont : of which:								
Chine China	702	484	106	26	90	83	423	1 915
Inde India	108	174	29	1	177	-	88	578
Asie Océanie OCDE <sup>(4)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(4)</sup>	38	300	67	2	13	5	150	575
Total Monde World total	<b>1 044</b>	<b>3 840</b>	<b>1 401</b>	<b>38</b>	<b>1 052</b>	<b>271</b>	<b>1 737</b>	<b>9 384</b>
dont OCDE of which OECD	111	1 734	718	10	197	58	808	3 636

(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, 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, Israël, Japon, Corée et Nouvelle Zélande - Australia, Israël, 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 Énergétiques Monde, AIE éd 2017 World Energy Balances, IEA, 2017 ed.

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

World: reference\* scenario for final consumption of energy

	1990		2014		2020		2030		2040	
	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%
Amérique OCDE <sup>(1)</sup> OECD America <sup>(1)</sup>	1 550	26	1 883	21	1 930	20	1 889	17	1 881	16
Dont USA of which USA	1 294	42	1 538	46	1 572	42	1 511	42	1 480	42
Amérique latine Latin America	249	4	477	5	498	5	582	5	685	6
Dont Brésil Of which Brazil	111	2	232	3	238	2	278	3	326	3
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	1 130	19	1 186	13	1 208	12	1 173	11	1 139	10
UE 28 EU 28	1 132	19	1 095	12	1 108	11	1 061	10	1 013	8
Europe de l'Est / Eurasie <sup>(3)</sup> Eastern Europ / Eurasia <sup>(3)</sup>	968	16	693	8	721	7	783	7	835	7
Moyen-Orient Middle East	150	3	474	5	549	6	729	7	903	8
Afrique Africa	292	5	562	6	642	7	775	7	925	8
Asie non OCDE Non OECD Asia	1 202	20	3 211	35	3 679	38	4 416	41	5 044	42
dont : of which:										
Inde India	245	4	556	6	702	7	991	9	1 309	11
Chine China	660	11	1 997	22	2 230	23	2 498	23	2 615	22
Asie Océanie OCDE <sup>(4)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(4)</sup>	418	7	561	6	561	6	537	5	516	4
<b>Monde World</b>	<b>5 959</b>	<b>100</b>	<b>9 047</b>	<b>100</b>	<b>9 788</b>	<b>100</b>	<b>10 884</b>	<b>100</b>	<b>11 928</b>	<b>100</b>
dont OCDE of which OECD	3 099	52	3 361	37	3 699	38	3 598	33	3 536	30
<b>Monde World</b>	<b>6 162</b>	<b>100</b>	<b>9 408</b>	<b>100</b>	<b>10 206</b>	<b>100</b>	<b>11 393</b>	<b>100</b>	<b>12 538</b>	<b>100</b>
dont : of which:										
Charbon Coal	754	12	1 076	11	1 107	11	1 142	10	1 143	9
Pétrole Oil	2 599	42	3 737	40	4 001	39	4 231	37	4 434	35
Gaz Gas	944	15	1 421	15	1 597	16	1 922	17	2 254	18
Électricité Electricity	836	14	1 706	18	1 933	19	2 397	21	2 879	23
Chaleur Heat	230	4	274	3	296	3	308	3	313	2
Biomasse et déchets Biomass & Waste	795	13	1 157	12	1 214	12	1 289	11	1 346	11
Autres renouvelables Other renewables	4	0,1	37	0,4	58	0,6	104	0,9	169	1,3

\* Prise en compte des engagements nationaux (COP 21).

\* Taking into account the NDC for the COP21..

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) Union européenne 15, Hongrie, Islande, Norvège, Pologne, Rép. Tchèque, Rép. Slovaque, Suisse et Turquie - European Union 15, Hungary, Iceland, Norway, Poland, Czech Republic., Slovak Republic, Switzerland and 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, Corée du Sud, Japon et Nouvelle Zélande - Australia, South Korea, Japan & New Zealand

Source : World Energy Outlook 2016, AIE World Energy Outlook 2016, IEA

## Europe : données générales pour 2015

Europe: general data for 2015

Année 2015 Year 2015	Population (millions habitants) (million inhabitants)	PIB (PPA milliards US\$2010) GDP (PPP billion US\$2010)	Approvisionnement 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	81,7	3 538	308	221	573
Autriche Austria	8,6	375	33	27	72
Belgique Belgium	11,2	465	53	42	88
Bulgarie Bulgaria	7,2	120	19	10	35
Chypre Cyprus	0,9	26	2	1	4
Croatie Croatia	4,2	82	8	7	16
Danemark Denmark	5,7	256	16	13	33
Espagne Spain	46,4	1 520	119	80	254
Estonie Estonia	1,3	35	5	3	9
Finlande Finland	5,5	211	32	24	83
<b>France</b>	<b>66,5</b>	<b>2 456</b>	<b>247</b>	<b>148</b>	<b>468</b>
Grèce Greece	10,9	256	23	16	57
Hongrie Hungary	9,8	240	25	19	40
Irlande Ireland	4,6	284	13	10	27
Italie Italy	60,7	2 033	153	119	310
Lettonie Latvia	2,0	45	4	4	6,9
Lituanie Lithuania	2,9	75	7	6	11
Luxembourg	0,6	53	4	4	8
Malte Malta	0,4	13	1	0,5	2
Pays-Bas Netherlands	16,9	786	74	57	114
Pologne Poland	38,5	956	95	66	154
Portugal	10,4	280	22	16	50
Rép. Tchèque Czech Republic	10,5	321	42	23	67
Rép. Slovaque Slovak Republic	5,4	157	16	10	28
Roumanie Romania	19,9	378	32	26	52
Royaume-Uni United Kingdom	65,1	2 522	181	125	331
Slovénie Slovenia	2,1	60	7	5	14
Suède Sweden	9,8	447	45	32	133
<b>Union européenne (28) European Union (28)</b>	<b>510</b>	<b>17 701</b>	<b>1 586</b>	<b>1 114</b>	<b>3 041</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

Source : Bilans Energétiques, Statistiques, Monde AIE, éd 2017 World Energy Balances, Statistics, IEA, 2017 edition

## Europe : données générales pour 2015

Europe: general data for 2015

Année 2015 Year 2015	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 <i>Germany</i>	62	7 013	162
Autriche <i>Austria</i>	72	8 407	193
Belgique <i>Belgium</i>	90	7 839	189
Bulgarie <i>Bulgaria</i>	83	4 847	290
Chypre <i>Cyprus</i>	55	4 778	167
Croatie <i>Croatia</i>	85	3 905	200
Danemark <i>Denmark</i>	52	5 789	129
Espagne <i>Spain</i>	52	5 483	167
Estonie <i>Estonia</i>	82	6 667	254
Finlande <i>Finland</i>	115	15 000	391
<b>France</b>	<b>59</b>	<b>7 044</b>	<b>188</b>
Grèce <i>Greece</i>	64	5 193	221
Hongrie <i>Hungary</i>	79	4 112	168
Irlande <i>Ireland</i>	37	5 870	95
Italie <i>Italy</i>	59	5 102	152
Lettonie <i>Latvia</i>	85	3 450	154
Lituanie <i>Lithuania</i>	79	3 897	151
Luxembourg	67	13 667	155
Malte <i>Malta</i>	35	5 450	164
Pays-Bas <i>Netherlands</i>	72	6 722	145
Pologne <i>Poland</i>	69	4 003	161
Portugal	58	4 788	178
Rép. Tchèque <i>Czech Republic</i>	70	6 403	210
Rép. Slovaque <i>Slovak Republic</i>	64	5 167	177
Roumanie <i>Romania</i>	68	2 633	139
Royaume-Uni <i>United Kingdom</i>	50	5 083	131
Slovénie <i>Slovenia</i>	80	6 762	238
Suède <i>Sweden</i>	72	13 592	298
<b>Union européenne (28) European Union (28)</b>	<b>63</b>	<b>5 968</b>	<b>172</b>

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

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

Source : Bilans Énergétiques, Statistiques, Monde AIE, éd 2017 *World Energy Balances, Statistics, IEA, 2017 edition*

Europe : consommation de biocarburants destinés au transport dans l'UE en 2016\*  
 Europe: biofuel consumption for transport in the European Union in 2016\*

Ktep Ktoe	Bioethanol Bioethanol	Biodiesel*** Biodiesel***	Biogaz carburant Biogas fuel	Consommation totale Total consumption
Allemagne Germany	758,1	1 771,3	29,4	2 558,8
Autriche Austria	57,8	575,8	0,5	634,1
Belgique Belgium	40,4	390,6	0,0	431,0
Bulgarie Bulgaria	32,2	111,4	0,0	143,6
Chypre Cyprus	0,0	8,7	0,0	8,7
Croatie Croatia	0,0	23,9	0,0	23,9
Danemark** Denmark**	0,0	240,4	0,0	240,4
Espagne Spain	135,2	846,1	0,0	981,3
Estonie Estonia	3,2	0,0	0,0	3,2
Finlande Finland	61,9	369,7	1,8	433,4
<b>France</b>	<b>474,0</b>	<b>2 641,0</b>	<b>0,0</b>	<b>3 115,0</b>
Grèce Greece	0,0	146,7	0,0	146,7
Hongrie Hungary	45,6	138,0	0,0	183,6
Irlande Ireland	33,4	85,1	0,0	118,5
Italie Italy	24,5	1 008,3	0,0	1 032,8
Lettonie Latvia	7,7	16,8	0,0	24,5
Lituanie Lithuania	6,4	50,1	0,0	56,5
Luxembourg	8,9	78,2	0,0	87,1
Malte Malta	0,0	4,4	0,0	4,4
Pays-Bas Netherlands	120,6	136,1	0,0	256,7
Pologne Poland	163,0	544,4	0,0	707,4
Portugal	20,9	251,9	0,0	272,8
Rép. Tchèque Czech Republic	55,3	228,8	0,0	284,1
Rép. Slovaque Slovak Republic	30,9	118,4	0,0	149,3
Roumanie Romania	61,9	141,4	0,0	203,3
Royaume-Uni United Kingdom	388,5	556,5	0,0	945,0
Slovénie Slovenia	5,8	23,0	0,0	28,8
Suède Sweden	109,4	1 096,5	106,4	1 312,3
<b>Union européenne (28) European Union (28)</b>	<b>2 645,6</b>	<b>11 603,5</b>	<b>138,1</b>	<b>14 387,2</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.

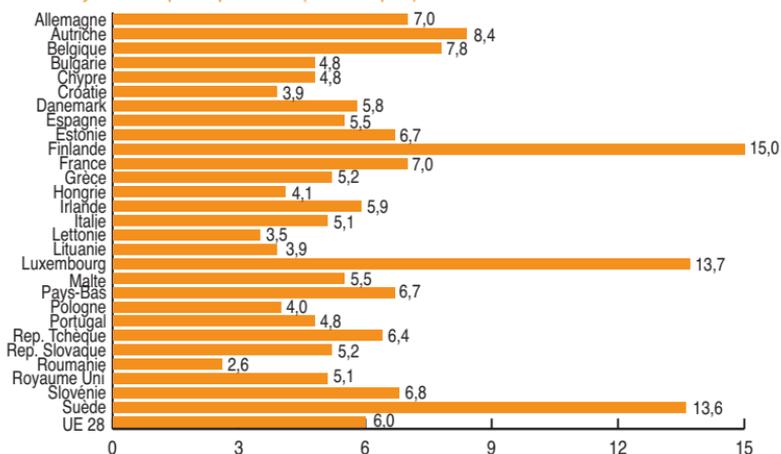
\*\*\* Huile végétale et huile végétale hydrotraitée incluses dans le chiffre du biodiesel.

\*\*\* Vegetable oil and hydrotreated vegetable oil included in the biodiesel figure.

Source : EurObserver 2017

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

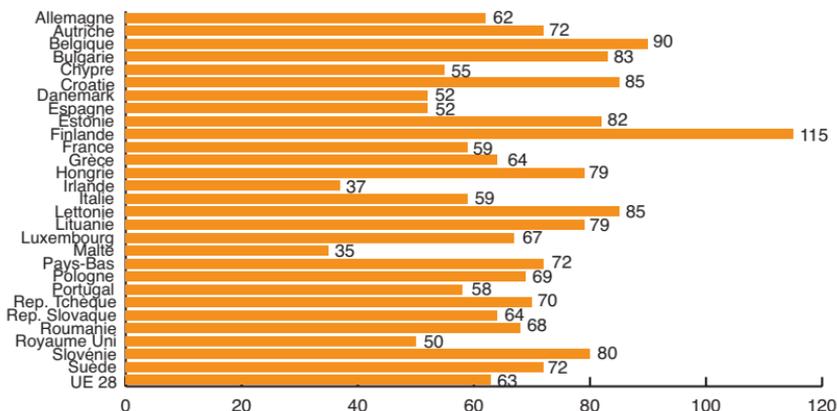
Electricity consumption per head (MWh/capita)



Source : Bilans Energétiques, Statistiques, Monde AIE, éd 2017 World Energy Balances, Statistics, IEA, 2017 edition

## Consommation finale d'énergie par unité de PIB (kep/millier US\$2010)

Final energy consumption per GDP unit (kep/thousand US\$2010)



Source : Bilans Energétiques, Statistiques, Monde AIE, éd 2017 World Energy Balances, Statistics, IEA, 2017 edition

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

Mtep Mtoe	1973	1980	1990	2000	2010	2016*	% / an 1973-2016 %/Year	Parts (%) Share (%)	
								1973	2016
Charbon Coal	27	31	19	14	12	8	-2,7	15,6	3,2
Pétrole Oil	119	107	88	95	81	76	-1,0	67,7	29,8
Gaz Gas	13	21	26	38	40	38	2,5	7,4	15,0
Electricité primaire <sup>(1)</sup> Primary electricity <sup>(1)</sup>	8	22	83	109	115	105	6,1	4,4	41,5
Energies renouvelables thermiques et déchets Thermal renewable energies and waste	9	8	11	13	16	27	2,6	5,0	10,5
<b>Total</b>	<b>175</b>	<b>190</b>	<b>227</b>	<b>269</b>	<b>264</b>	<b>254</b>	<b>0,8</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

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

\* Bilan provisoire \* Provisional balance

Source : Bilan énergétique de l'année 2016 de la France, Service de l'Observation et des Statistiques

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

Mtep Mtoe	1973	1980	1990	2000	2010	2016*	% / an 1973-2015 %/Year	Parts (%) Share (%)	
								1973	2016
Charbon Coal	18	13	10	7	6	2	-4,7	13,3	1,4
Pétrole Oil	84	78	70	74	66	66	-0,6	63,9	43,7
Gaz Gas	9	17	23	33	32	30	2,9	6,5	20,2
Electricité Electricity	13	18	26	34	38	37	2,4	9,9	24,7
Energies renouvelables Renewable energy	9	8	10	11	14	15	1,3	6,5	10,0
<b>Total énergétique</b>	<b>132</b>	<b>134</b>	<b>139</b>	<b>159</b>	<b>155</b>	<b>150</b>	<b>0,3</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

\* Bilan provisoire \* Provisional balance

Source : Bilan énergétique de l'année 2016 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 dont sidérurgie of which iron and steel industry	48 13	45 11	38 7	39 6	34 5	28 5	-0,8 -2,1	33 9	18 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>

\* Dernière donnée disponible \* Last available data

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>

Source : Aizere

Source : Ademe

\* DIV : diversification des vecteurs énergétiques avec cogénération (valeurs réajustées) (énergie primaire)

DIV : diversification of energetic vectors with cogeneration (adjusted values) (energy primary)

\*\* EFF : efficacité énergétique et développement de l'offre renouvelable (énergie primaire)

EFF : energetic efficiency and renewable supply development (energy primary)

## France : bilans électriques

France: electricity balances

TWh	Consommation Consumption		Echanges avec l'étranger <sup>(3)</sup> Balance <sup>(3)</sup>	Production intérieure Inland Production						Autres renouv. Other renewables	Total
	Intérieure <sup>(1)</sup> Inland <sup>(1)</sup>	Nette <sup>(2)</sup> Net <sup>(2)</sup>		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	
2016	473	439	-39	46	64	384	20,7	8,3	8,5	531	

(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 et ENEDIS

## 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	Total
	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 (3)		
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 (4)	0,23	-0,13	-0,11	0,13	0,43					0,55
Soutes maritimes internationales International marine bunkers			-1,61							-1,61
<b>Utilisation de l'énergie 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 consump- tion (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

\* Dernière donnée disponible \* Last available data

(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 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	Total
	Houille Lignite <sup>(1)</sup> Hard coal, lignite <sup>(1)</sup>	Coke, agglomérés Coke, briquettes	Brut Crude	Raffiné Refined	Naturel Natural	Industriels Industrial	Production brute <sup>(2)</sup> Gross production	Consommation Consumption		
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 <sup>(6)</sup>				45,42	0,1			0,88	3	49,39
<b>Consommation finale non-énergétique (C) (corrigée du climat)</b> Final non-energy consumption (C) (corrected for climate)		<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)</b> Total primary energy consumption (corrected for climate) (A+B+C)		<b>8,41</b>		<b>77,18</b>	<b>36,49</b>			<b>116,58</b>	<b>18,08</b>	<b>256,73</b>

\* Dernière donnée disponible \* Last available data

(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 2014

World: 2014 electricity installed capacities

(GW) 2014	Ther- mique conven- tionnel  Conven- tional Thermal	Nu- cléaire  Nuclear	Hydrau- lique  Hydroe- lectric	Bio- énergie  Bio- energy	Eolien  Wind	Géo- ther- mique  Geo- thermal	Solaire PV  Solar PV	Solaire thermo- dynamique  CSP	Marine  Marine	Total
OCDE Americas <sup>(1)</sup>	916	120	199	22	78	4	21	2	0	1 364
North America <sup>(1)</sup>										
dont Etats-Unis	820	104	102	17	65	4	19	2	-	1 132
of which United States										
Amérique Latine	104	4	150	14	7	1	0	0	-	280
Latin America										
dont Brésil	24	2	89	12	5	-	-	-	-	132
of which Brazil										
Europe OCDE <sup>(2)</sup>	477	129	207	40	129	2	86	2	0	1 073
OECD Europe <sup>(2)</sup>										
dont UE 28	447	129	151	40	129	1	87	2	0	985
of which EU 28										
Europe de l'Est/Eurasie <sup>(3)</sup>	295	44	97	2	5	0	3	-	-	437
Eastern Europ / Eurasia <sup>(3)</sup>										
Moyen-Orient	268	1	15	0	0	-	0	0	-	285
Middle East										
Afrique	151	2	28	1	2	1	1	-	-	186
Africa										
Asie non OCDE	1 372	32	411	25	122	3	34	0	0	2 000
Non OECD Asia										
dont Chine	923	20	304	10	97	0	28	0	0	1 382
of which China										
dont Inde	211	6	44	7	23	-	3	0	-	295
of which India										
OCDE Asie Océanie <sup>(4)</sup>	301	66	69	8	8	1	30	0	0	483
OECD Asia Oceania <sup>(4)</sup>										
<b>Total Monde</b>	<b>3 886</b>	<b>398</b>	<b>1 177</b>	<b>113</b>	<b>351</b>	<b>12</b>	<b>176</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>6 117</b>
<b>World Total</b>										

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

(2) Union européenne 15, Hongrie, Islande, Norvège, Pologne, Rép. Tchèque, Rép. Slovaque, Suisse et Turquie - European Union 15, Hungary, Iceland, Norway, Poland, Czech Republic., Slovak Republic, Switzerland and 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 2016

Production d'électricité d'origine nucléaire par pays fin 2016  
Electricity generation from nuclear power plants by country at the end of 2016

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>17 878,75</b>	<b>2 476,2</b>	<b>13,8</b>
Afrique du Sud <i>South Africa</i>	230,30	15,2	6,6
Allemagne <i>Germany</i>	611,45	80,1	13,1
Argentine <i>Argentina</i>	137,50	7,7	5,6
Arménie <i>Armenia</i>	7,01	2,2	31,4
Belgique <i>Belgium</i>	80,08	41,4	51,7
Brésil <i>Brazil</i>	517,24	15	2,9
Bulgarie <i>Bulgaria</i>	43,14	15,1	35
Canada	613,46	95,7	15,6
Chine <i>China</i>	5 494,44	197,8	3,6
Corée du Sud <i>South Korea</i>	509,24	154,3	30,3
Espagne <i>Spain</i>	262,15	56,1	21,4
Etats-Unis <i>USA</i>	4 085,79	804,9	19,7
Finlande <i>Finland</i>	66,17	22,3	33,7
<b>France</b>	<b>534,58</b>	<b>386,5</b>	<b>72,3</b>
Hongrie <i>Hungary</i>	29,63	15,2	51,3
Inde <i>India</i>	1 029,41	35	3,4
Iran	280,95	5,9	2,1
Japon <i>Japan</i>	795,45	17,5	2,2
Mexique <i>Mexico</i>	166,13	10,3	6,2
Pakistan	122,73	5,4	4,4
Pays-Bas <i>Netherlands</i>	108,82	3,7	3,4
Rép.tchèque <i>Czech Republic</i>	77,21	22,7	29,4
Roumanie <i>Romania</i>	60,82	10,4	17,1
Royaume-Uni <i>United Kingdom</i>	319,12	65,1	20,4
Russie <i>Russia</i>	1 076,61	184,1	17,1
Slovaquie <i>Slovakia</i>	25,32	13,7	54,1
Slovénie <i>Slovenia</i>	15,34	5,4	35,2
Suède <i>Sweden</i>	151,50	60,6	40
Suisse <i>Switzerland</i>	59,01	20,3	34,4
Taiwan (Chine / <i>China</i> )	222,63	30,5	13,7
Ukraine <i>Ukraine</i>	145,51	76,1	52,3
<b>Pays non nucléaires <sup>(2)</sup></b>	<b>6 376,25</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Total <sup>(2)</sup></b>	<b>24 255,00</b>	<b>2 476,2</b>	<b>10,21</b>

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

(2) Source: IEA World Balances, data for 2015

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

## Monde : production d'électricité par source en 2015

World: electricity generation by fuel for 2015

%	Charbon Coal	Pétrole Oil	Gaz naturel Natural gas	Nucléaire Nuclear	Hydraulique Hydro	Autres Others	Total
Amérique OCDE <sup>(1)</sup> OECD America <sup>(1)</sup>	29,9	1,5	30,6	17,6	12,8	7,6	100
dont Etats-Unis of which USA	34,2	0,9	31,9	19,3	5,8	7,8	100
Amérique non OCDE Non OECD America	4	13,5	19,7	1,8	53,4	7,9	100
dont Brésil of which Brazil	4,7	5,0	13,7	2,5	61,9	12,2	100
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	24,1	1,6	16,4	24,0	16,0	17,9	100
Union européenne 28 European Union 28	25,8	1,9	15,5	26,8	10,6	19,4	100
<b>dont France</b> <b>of which France</b>	<b>2,2</b>	<b>0,4</b>	<b>3,5</b>	<b>77,6</b>	<b>9,7</b>	<b>6,7</b>	<b>100</b>
Non OCDE Europe et Eurasie <sup>(3)</sup> Non OECD Europe and Eurasia <sup>(3)</sup>	22,2	1,2	40,6	18,0	16,7	1,3	100
Moyen-Orient Middle East	0,0	30,7	67,3	0,3	1,7	0,0	100
Afrique Africa	32,9	11,3	36,5	1,6	15,4	2,3	100
Asie <sup>(4)</sup> Asia <sup>(4)</sup>	54,4	4,6	22,1	2,9	11,7	4,4	100
dont Inde of which India	75,3	1,7	4,9	2,7	10,0	5,4	100
Chine China	70,3	0,2	2,7	2,9	19,0	5,0	100
Asie Océanie OCDE <sup>(5)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(5)</sup>	39,6	6,3	32,1	9,0	6,4	6,6	100
<b>Total Monde</b> <b>World Total</b>	<b>39</b>	<b>4,1</b>	<b>22,9</b>	<b>10,6</b>	<b>16,0</b>	<b>7,1</b>	<b>100</b>
dont OCDE which OECD	29,7	2,4	26,2	18,2	12,7	10,8	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, 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, 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) Hors Chine - [Without China](#)

(5) Australie, Israël, Japon, Corée et Nouvelle Zélande - [Australia, Israël, Japan, Korea & New Zealand](#)  
Source : [Bilans Energétiques Monde, AIE, éd 2017 - World Energy Balances, IEA, 2017 ed](#)

Monde : production d'électricité  
World: electricity generation

TWh	1990	2000	2010	2015	%/an 1990-2015 %/year
Amérique OCDE <sup>(1)</sup> OECD America <sup>(1)</sup>	3 819	4 877	5 294	5 354	1
dont Etats-Unis of which USA	3 203	4 026	4 354	4 297	1
Amérique non OCDE Non OECD America	489	763	1 069	1 211	4
dont Brésil of which Brazil	223	349	516	582	4
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	2 668	3 227	3 619	3 559	1
Union européenne 28 European Union 28	2 577	3 006	3 335	3 204	1
dont France of which France	<b>417</b>	<b>535</b>	<b>564</b>	<b>563</b>	<b>1</b>
Europe non OCDE et Eurasie <sup>(3)</sup> Non OECD Europe and Eurasia <sup>(3)</sup>	1 888	1 428	1 693	1 744	0
Moyen-Orient Middle East	224	430	833	1 047	6
Afrique Africa	316	442	671	781	4
Asie Asia	1 274	2 636	6 329	8 620	8
dont : of which:					
Chine China	650	1 387	4 236	5 882	9
Inde India	293	570	979	1 383	6
Asie Océanie OCDE <sup>(4)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(4)</sup>	1 185	1 668	1 993	1 945	2
<b>Total Monde World total</b>	<b>11 864</b>	<b>15 471</b>	<b>21 502</b>	<b>24 255</b>	<b>3</b>
dont OCDE of which OECD	7 673	9 772	10 906	10 858	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, 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, 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, Israël, Japan, Korea & New Zealand  
Source : Bilans Energétiques Monde, AIE, éd 2017 - World Energy Balances, IEA, 2017 ed.

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

	1990		2014		2020		2030		2040	
	TWh	%								
<b>Amérique OCDE</b> <sup>(1)</sup> <b>OECD America</b> <sup>(1)</sup>	3 819	32	5 344	22	5 562	21	5 897	18	6 333	16
<b>Amérique latine</b> <b>Latin America</b>	489	4	1 217	5	1 314	5	1 669	5	2 086	5
<b>Europe OCDE</b> <sup>(2)</sup> <b>OECD Europe</b> <sup>(2)</sup>	2 682	23	3 556	15	3 748	14	3 925	12	4 075	10
<b>UE 28</b> <b>EU 28</b>	2 577	22	3 155	13	3 299	12	3 379	10	3 427	9
<b>Europe de l'Est/Eurasie</b> <sup>(3)</sup> <b>East Europe/Eurasia</b> <sup>(3)</sup>	1 894	16	1 741	7	1 815	7	2 022	6	2 260	6
<b>Moyen-Orient</b> <b>Middle East</b>	224	2	990	4	1 160	4	1 631	5	2 154	6
<b>Afrique</b> <b>Africa</b>	316	3	775	3	919	3	1 366	4	2 118	5
<b>Asie non OCDE</b> <b>Non OECD Asia</b>	1 274	11	8 314	35	10 246	38	14 139	43	17 835	46
dont Inde of which India	293	2	1 287	5	1 768	7	2 896	9	4 254	11
dont Chine of which China	650	5	5 706	24	6 797	25	8 785	27	10 150	26
<b>OCDE Asie Océanie</b> <sup>(4)</sup> <b>OECD Asia Oceania</b> <sup>(4)</sup>	1 164	10	1 872	8	1 935	7	2 082	6	2 185	6
<b>Monde</b> <b>World</b>	<b>11 862</b>	<b>100</b>	<b>23 809</b>	<b>100</b>	<b>26 699</b>	<b>100</b>	<b>32 731</b>	<b>100</b>	<b>39 046</b>	<b>100</b>
dont OCDE of which OECD	7 666	65	10 772	45	11 245	42	11 905	36	12 592	32
dont de which										
Charbon <b>Coal</b>	4 425	37	9 707	41	9 741	36	10 245	31	10 786	28
Pétrole <b>Oil</b>	1 358	11	1 035	4	822	3	633	2	547	1
Gaz <b>Gas</b>	1 753	15	5 148	22	5 804	22	7 305	22	8 909	23
Nucléaire <b>Nuclear</b>	2 013	17	2 535	11	3 053	11	3 847	12	4 532	12
Hydraulique <b>Hydro</b>	2 143	18	3 894	16	4 387	16	5 382	16	6 230	16
Biomasse et déchets <b>Biomass &amp; Wast</b>	131	1	495	2	642	2	954	3	1 353	3
Eolien <b>Wind</b>	4	0,0	717	3	1 508	6	2 706	8	3 881	10
Geothermique <b>Geothermal</b>	36	0,3	77	0,3	111	0,4	207	1	361	1
Solaire PV <b>Solar PV</b>	0	0,0	190	0,8	599	2	1 329	4	2 137	5
Solaire thermodynamique <b>CSP</b>	1	0,0	9	0,0	30	0,1	109	0,3	254	1
Marine <b>Marine</b>	1	0,0	1	0,0	3	0,0	15	0,0	54	0

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

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

(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, 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, 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, Israël, Japan, Korea & New Zealand**

Source : *World Energy Outlook 2016, AIE*

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

TWh	1973	1980	1990	2000	2010	2015	%/an %/year 1973- 2015	%/an %/year 2000- 2015
Allemagne <i>Germany</i>	374	466	548	572	627	641	1,3	0,7
Autriche <i>Austria</i>	31	42	49	60	68	62	1,6	0,2
Belgique <i>Belgium</i>	41	53	70	83	94	70	1,3	-1,1
Bulgarie <i>Bulgaria</i>	22	35	42	41	46	49	1,9	1,1
Chypre <i>Cyprus</i>	0,8	1	2	3	5	5	4,1	1,9
Croatie <i>Croatia</i>			9	11	15	11		0,1
Danemark <i>Denmark</i>	19	27	26	36	39	29	1,0	-1,4
Espagne <i>Spain</i>	76	109	151	221	298	278	3,1	1,4
Estonie <i>Estonia</i>			17	9	13	10		1,3
Finlande <i>Finland</i>	26	41	54	70	81	69	2,3	-0,1
<b>France</b>	<b>183</b>	<b>257</b>	<b>417</b>	<b>535</b>	<b>564</b>	<b>564</b>	<b>2,7</b>	<b>0,3</b>
Grèce <i>Greece</i>	15	23	35	53	57	52	3,0	-0,1
Hongrie <i>Hungary</i>	18	24	28	35	37	30	1,3	-0,9
Irlande <i>Ireland</i>	7	11	14	24	28	28	3,2	1,1
Italie <i>Italy</i>	144	183	213	270	299	282	1,6	0,3
Lettonie <i>Latvia</i>			7	4	7	6		1,8
Lituanie <i>Lithuania</i>			28	11	5	4		-5,8
Luxembourg	1	1	1	0,4	3	1	-0,1	7,4
Malte <i>Malta</i>	0,4	1	1	2	2	1	2,8	-2,4
Pays-Bas <i>Netherlands</i>	53	65	72	90	119	110	1,7	1,3
Pologne <i>Poland</i>	84	121	134	143	157	164	1,6	0,9
Portugal	10	15	28	43	54	51	3,9	1,1
Rép. Slovaque <i>Slovak Republic</i>	12	20	25	31	27	27	1,8	-0,9
Rép. Tchèque <i>Czech Republic</i>	41	53	62	73	85	83	1,6	0,8
Roumanie <i>Romania</i>	47	67	64	52	61	66	0,8	1,5
Royaume-Uni <i>United Kingdom</i>	281	284	318	374	379	336	0,4	-0,7
Slovénie <i>Slovenia</i>			12	14	16	15		0,5
Suède <i>Sweden</i>	78	96	146	145	148	162	1,7	0,7
<b>UE 28 EU 28</b>			<b>2 577</b>	<b>3 006</b>	<b>3 335</b>	<b>3 204</b>		<b>0,4</b>

Source : Bilans Energétiques Monde, AIE, éd 2017 - *World Energy Balances, IEA, 2017 ed*

Europe : part de l'énergie produite à partir de sources renouvelables dans la consommation brute d'énergie finale en 2015 et objectifs 2020

Europe: share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy in 2015 and national overall targets in 2020

	2015	2020*
Allemagne <i>Germany</i>	14,6 %	18 %
Autriche <i>Austria</i>	33,0 %	34 %
Belgique <i>Belgium</i>	7,9 %	13 %
Bulgarie <i>Bulgaria</i>	18,2 %	16 %
Chypre <i>Cyprus</i>	9,4 %	13 %
Croatie <i>Croatia</i>	29,0 %	20 %
Danemark <i>Denmark</i>	30,8 %	30 %
Espagne <i>Spain</i>	16,2 %	20 %
Estonie <i>Estonia</i>	28,6 %	25 %
Finlande <i>Finland</i>	39,3 %	38 %
<b>France **</b>	<b>15,2%</b>	<b>23 %</b>
Grèce <i>Greece</i>	15,4 %	18 %
Hongrie <i>Hungary</i>	14,5 %	13 %
Irlande <i>Ireland</i>	9,2 %	16 %
Italie <i>Italy</i>	17,5 %	17 %
Lettonie <i>Latvia</i>	37,6 %	40 %
Lituanie <i>Lithuania</i>	25,8 %	23 %
Luxembourg	5,0 %	11 %
Malte <i>Malta</i>	5,0 %	10 %
Pays-Bas <i>Netherlands</i>	5,8 %	14 %
Pologne <i>Poland</i>	11,8 %	15 %
Portugal	28,0 %	31 %
Rep. Tchèque <i>Czech Republic</i>	15,1 %	13 %
Rep. Slovaque <i>Slovak Republic</i>	12,9 %	14 %
Roumanie <i>Romania</i>	24,8 %	24 %
Royaume-Uni <i>United Kingdom</i>	8,2 %	15 %
Slovénie <i>Slovenia</i>	22,0 %	25 %
Suède <i>Sweden</i>	53,9 %	49 %
<b>Union européenne 28 <i>European Union 28</i></b>	<b>16,7 %</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 2017*

## Sources de chaleur utilisées dans le secteur résidentiel en Europe Heating sources in residential buildings

Régions européennes (UE + Russie + Ukraine + Royaume-Uni) EU regions (EU+Russia+Ukraine+UK)			
Source de chaleur Heat source / fuel	Sud South	Centrale & Est Central & East	Nord & Ouest North & West
Biomasse Biomass	27 %	20 %	21 %
Electricité Electricity	18 %	1 %	13 %
Pétrole Oil	32 %	3 %	20 %
Gaz Gas	23 %	7 %	39 %
Réseaux de chaleur DH	0 %	29 %	6 %
Charbon Coal	0 %	41 %	1 %

Source : Intelligent Energy Europe Programme (2015)

## Sources de chaleur fournie aux réseaux de chaleur de l'Union européenne en 2014

Heath supplied into all DH systems in the EU according to four heat supply methods in 2014

Méthode de fourniture de la chaleur Heat supply method	%
Chaleur recyclée, cogénération fossile et industries Recycled heat, fossil CHP and industries	56
Renouvelables, usage direct (géothermie, biomasse et ordures ménagères) Renewables, direc use (geothermal, biomass and waste)	9
Chaleur recyclée, cogénération renouvelable (biomasse et ordures ménagères) Recycled heat, renewable CHP (waste and biomass)	17,8
Chaleur recyclée, cogénération nucléaire Recycled heat, nuclear plants	0,17

Source : Werner 2017

## 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 Mkteo</b>	<b>23,0</b>

\* Métropole Mother country

\*\* Dernière année disponible

Source : SOeS

## France : bilan électrique

France: electricity balance

	2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016	
	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%
<b>Production nette</b> Net Production	<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>	<b>531</b>	<b>100</b>
Thermique nucléaire Nuclear	407,9	74,1	421,1	77,6	404,9	74,8	403,7	73,3	415,9	76,9	416,8	76,3	384	72,3
Thermique classique Conventional thermal	59,4	10,8	51,5	9,5	47,9	8,8	44,7	8,1	27,0	5,0	34,1	6,2	45,9	8,6
Hydraulique Hydro	68	12,4	50,3	9,3	63,8	11,8	75,7	13,7	68,2	12,6	58,7	10,8	63,9	12,0
Eolien Wind	9,6	1,7	12,1	2,2	14,9	2,8	15,9	2,9	17,0	3,1	21,1	3,9	20,7	3,9
Solaire of which solar	nd		2,4	0,4	4	0,7	4,6	0,8	5,9	1,1	7,4	1,4	8,3	1,6
Bioénergies Bioenergy	nd		nd		nd		nd		nd		7,9	1,4	8,5	1,6
<b>Consommation intérieure</b> Gross Inland Consumption	<b>513</b>		<b>478</b>		<b>490</b>		<b>495,0</b>		<b>465,2</b>		<b>476,1</b>		<b>473,0</b>	
Pertes Losses	37	7,2	35	7,3	36	7,4	38,0	7,7	34,3	7,4	35,7	7,5	34,3	7,2
Consommation nette Net consumption	476,1	92,8	443,3	92,7	453,1	92,5	457,0	92,3	430,4	92,5	440,3	92,5	439,0	92,8
<b>Pompage</b> Pumping storage	<b>7</b>		<b>7</b>		<b>7</b>		<b>7</b>		<b>8</b>		<b>7</b>			
<b>Solde Import-Export</b> Import-Export balance	<b>31</b>		<b>57</b>		<b>45</b>		<b>48</b>		<b>67</b>		<b>64</b>		<b>39,1</b>	

Source : Energie Electrique, RTE, éd 2017

France : échanges contractuels transfrontaliers d'électricité en 2016  
 France: cross-border contractual electricity exchanges in 2016

TWh	Exportations	Importations	Solde exportateur
CWE*	10,6	15,9	-5,3
Espagne <i>Spain</i>	13,3	0,5	12,8
Grande Bretagne <i>United Kingdom</i>	12,7	2,7	10,0
Italie <i>Italy</i>	17,7	1,2	16,5
Suisse <i>Switzerland</i>	17,4	7,3	10,1
<b>Total France</b>	<b>71,7</b>	<b>27,6</b>	<b>44,1</b>

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

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

Source : Bilan électrique français 2016, RTE Ed 2017

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
1960	jeudi 15 décembre	Thursday December 15	12,9 GWe
1970	vendredi 18 décembre	Friday December 18	23,3 GWe
1980	mardi 9 décembre	Tuesday December 9	44,1 GWe
1990	lundi 17 décembre	Monday December 17	63,4 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
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
2016	lundi 18 janvier	Monday January 18	88,6 GWe

Source : Bilan électrique 2016, RTE ed. 2017

**ÉNERGIE ÉLECTRIQUE  
ET ÉLECTRONUCLÉAIRE**

**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		UO <sub>2</sub> enrichi Enriched UO <sub>2</sub>
	MGUNGG	CO <sub>2</sub>	Magnox gas cooled	Graphite	U naturel Natural U
	HTR (GT-MHR, PBMR)	He	High temperature		UO <sub>2</sub> , UC <sub>2</sub> , ThO <sub>2</sub> ...
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		UO <sub>2</sub> enrichi Enriched UO <sub>2</sub>
	PWR (APWR, WWER)	Eau ordinaire Light water	Sous pression Pressurized	Eau ordinaire Light water	ou UO <sub>2</sub> enrichi et Mox Enriched UO <sub>2</sub> and MOX
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 (103SWU)	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>(6)</sup>	235 310	280
Besoin en enrichissement (milliers d'UTS) <sup>(7)</sup> Enrichment requirements (103SWU) <sup>(7)</sup>	87 61 (+0) <sup>(6)</sup>	124 182	154
Irradiation moyenne (MWf/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 01/01/2017

58 unités installées représentant 63 GWe

Nuclear power plants in France - Status as of 2017/01/01

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	Fessenheim-1	880	1978
	Fessenheim-2	880	1978
	Bugey-2	910	1979
	Bugey-3	880	1979
	Bugey-4	880	1979
	Bugey-5	900	1980
	Dampierre-1	890	1980
	Gravelines-1	915	1980
	Tricastin-1	880	1980
	Tricastin-2	880	1980
	Gravelines-2	915	1980
	Dampierre-2	890	1981
	Dampierre-3	890	1981
	Gravelines-3	915	1981
	Gravelines-4	915	1981
	Tricastin-3	880	1981
	Tricastin-4	880	1981
	Dampierre-4	890	1981
	Blayais-1	910	1981
	Saint-Laurent-B-1	890	1983
	Saint-Laurent-B-2	890	1983
	Blayais-2	910	1983
	Blayais-3	910	1983
	Blayais-4	910	1983
	Chinon-B-1	920	1984
	Cruas-Meysse-1	915	1984
	Chinon-B-2	920	1984
	Cruas-Meysse-3	915	1984
	Gravelines-5	915	1985
	Paluel-1	1 330	1985
	Cruas-Meysse-2	915	1985
	Paluel-2	1 330	1985
	Cruas-Meysse-4	915	1985
Gravelines-6	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	
Chinon-B-3	920	1987	
Flamanville-2	1 330	1987	

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
	Cattenom-1	1 300	1987
	Cattenom-2	1 300	1988
	Nogent-1	1 310	1988
	<b>Chinon-B-4</b>	<b>920</b>	<b>1988</b>
	Belleville-1	1 310	1988
	Belleville-2	1 310	1989
	Nogent-2	1 310	1989
	Penly-1	1 330	1990
	Golfech-1	1 310	1991
	Cattenom-3	1 300	1991
	Cattenom-4	1 300	1992
	Penly-2	1 330	1992
	Golfech-2	1 310	1994
Palier N4 N4 series <b>4 REP-1450 4 PWR-1450</b> 5 810 MWe nets	Chooz-B-1	1 455	2000
	Chooz-B-2	1 455	2000
	Civaux-1	1 450	2002
	Civaux-2	1 450	2002

Source : AIEA

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

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

	2015	2016	2020 <sup>(1)</sup>
Puissance électronucléaire nette installée (GWe) Installed nuclear capacity	63	63	63
Production nette d'électricité nucléaire (TWh) Nuclear electricity generation	417	384	422
Besoins en uranium naturel (tU/an) Natural Uranium requirements	8 000	8 000	8 000
Besoins en services d'enrichissement (10 <sup>3</sup> UTS/an) Enrichment requirements	6 000	6 500	6 500
Besoins en fabrication Manufacturing requirements			
• de combustible REP U <sub>235</sub> (t ML/an) • U <sub>235</sub> PWR fuel manufacturing requirements	1 050	1 050	1 050
• de combustible MOX pour REP (t ML/an) • MOX fuel for PWR	120	120	125
Quantités de combustible irradié produites (t ML/an) PWR spent fuel arisings	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 2017

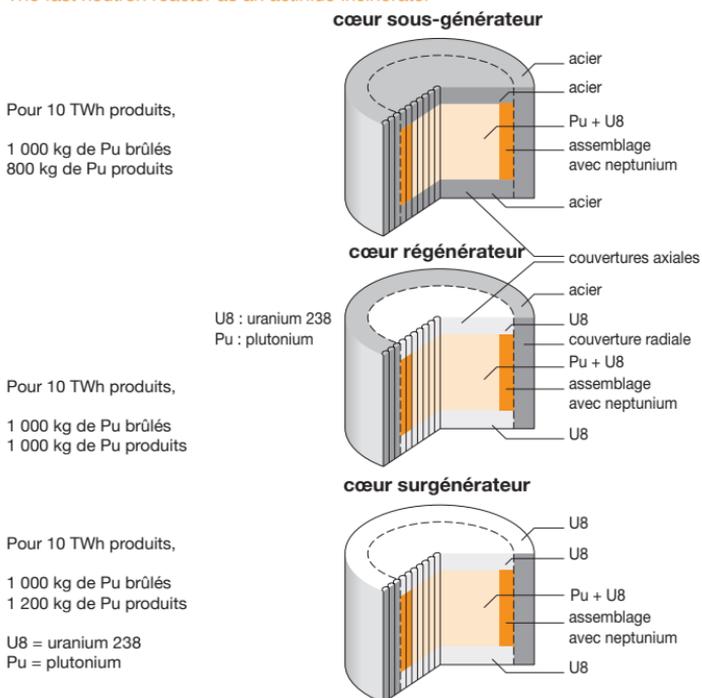
## Principales caractéristiques d'un réacteur à neutrons rapides

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



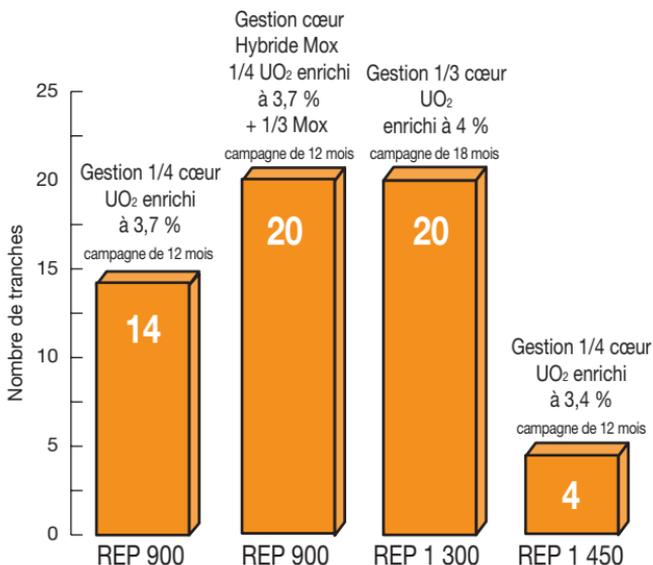
Source : « Les colonnes de Creys » n° 10

## CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

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.

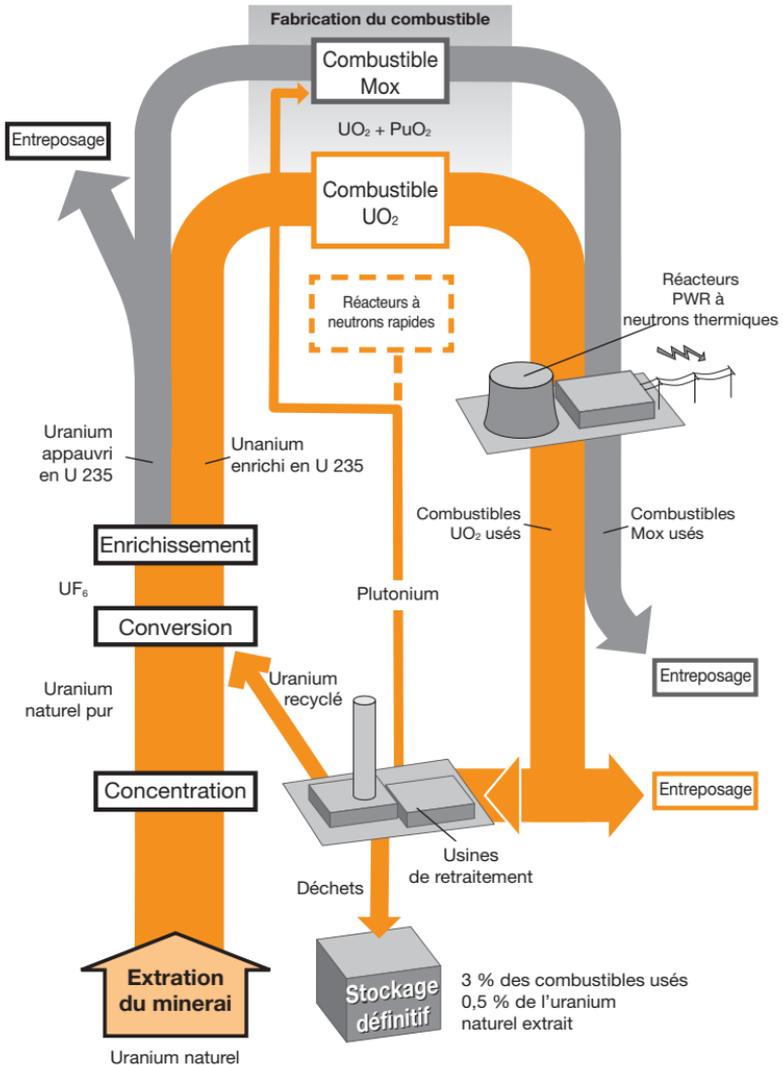
### Gestion du combustible sur le parc REP d'EDF

(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

	2014	2015	2020	2030	2035
Tonnes U	56 585	de 62 570 à 66 005	de 65 975 à 76 965	de 66 580 à 95 630	de 66 995 à 104 740

Source : Uranium 2016. Resources, Production and Demand. AEN ed. 2016

## 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	7 500
Allemagne + Pays-Bas + Royaume Uni	Urenco: Gronau, Almelo, Capenhurst	14 200	14 400	14 900
Japon	JNFL, Rokkaasho	75	75	75
USA	USEC, Paducah & Piketon	0	0	0
USA	Urenco, New Mexico	3 500	4 700	4 700
USA	Areva, Idaho Falls	0	0	0
	Global Laser Enrichment	0	0	0
Russie	Tenex: Angarsk, Novouralsk, Zelenogorsk, Seversk	26 000	26 578	28 663
Chine	CNNC, Hanzhun & Lanzhou	2 200	5 760	10 700
Autres		75	100	170
<b>Total</b>		<b>51 550</b>	<b>58 600</b>	<b>66 700</b>
	<b>Besoins (scénario de référence WNA)</b>	49 154	47 285	57 456

Source : WNA 2017

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						
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 2014	Besoins		
		2014	2016 <sup>(1)</sup>	2020 <sup>(1)</sup>
BWR	1 100	265	190	185
FBR MOX	0	0	0	0
GCR (Magnox et AGR)	240	183	190	190
HWR	2 270	2 170	2 270	1 800
LWR	9 074	4 289,5	4 919,8	4 626
LWR MOX	195	150	126,4	120
<b>Total</b>	<b>12 879</b>	<b>7 058</b>	<b>7 696</b>	<b>6 921</b>

(1) Hors Japon - *Except Japan*

Source : *Données sur l'énergie nucléaire, AEN éd. 2016*

## Usines de traitement des combustibles usés

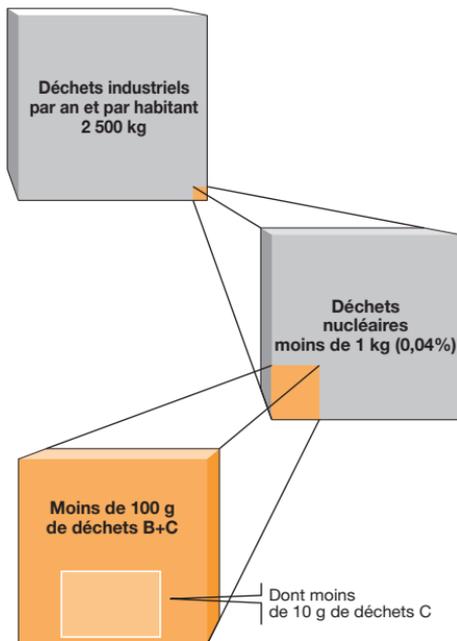
Used fuel reprocessing units

Type de combustible	Pays	Capacité tML/an
LWR	France, La Hague	1 700
	UK, Sellafield (THORP)	600
	Russie, Ozersk (Mayak)	400
	Japon (Rokkasho)	800*
	<b>Total LWR</b>	<b>3 500</b>
Autres	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 2018.

Source : *WNA 2017*

## 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.	
			
	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'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 β, γ	Émetteurs α		
Solution de produits de fission	270.10 <sup>6</sup>	3,5.10 <sup>6</sup> (1)	Verre	3
Déchets de structures (coques et embouts) et déchets technologiques de zone 4 (2)	12,5.10 <sup>6</sup>	18 500	Compacté	5
Boues de traitement des effluents liquides	0	0	-	0
Déchets technologiques de zones 2 et 3	52	négligeable	Ciment	20

(1) Dont plus de 99,5 % de transuraniens (moins de 0,5 % de plutonium).

(2) Les zones 4, 3 et 2 correspondent à un risque potentiel décroissant de dissémination radioactive.  
 Source : AREVA

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

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

Source : AREVA

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

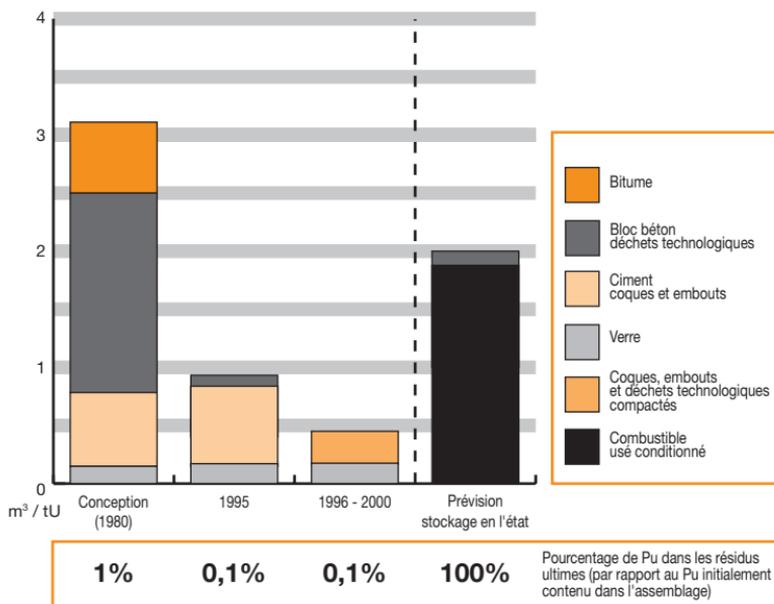
<b>Effluents gazeux</b> (GBq/TWh)	Gaz rares Aérosols + halogènes	867 0,009
<b>Effluents liquides</b> (GBq/TWh)	Hors tritium Tritium	0,22 1,778
<b>Déchets solides</b> (m <sup>3</sup> /TWh)		20

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

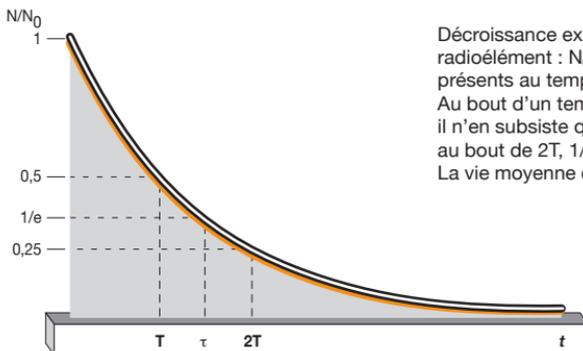
Grandeurs	Unités	Équivalences	Définitions
<b>ACTIVITÉ</b>	Becquerel (Bq) Curie (Ci)	1 Bq = 27 picocuries  1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq	Grandeur représentant le nombre de désintégrations par seconde au sein d'une matière radioactive
<b>DOSE ABSORBÉE</b>	Gray (Gy)  Rad (rad)	1 Gy = 1 joule/kg = 100 rad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

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 décréu 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 ( $\beta$ )

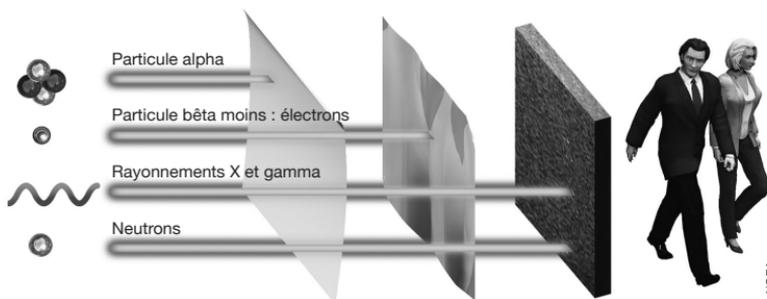
Pénétration faible. Ils parcourent quelques mètres dans l'air. Une feuille d'aluminium de quelques millimètres peut arrêter les électrons.

#### 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.



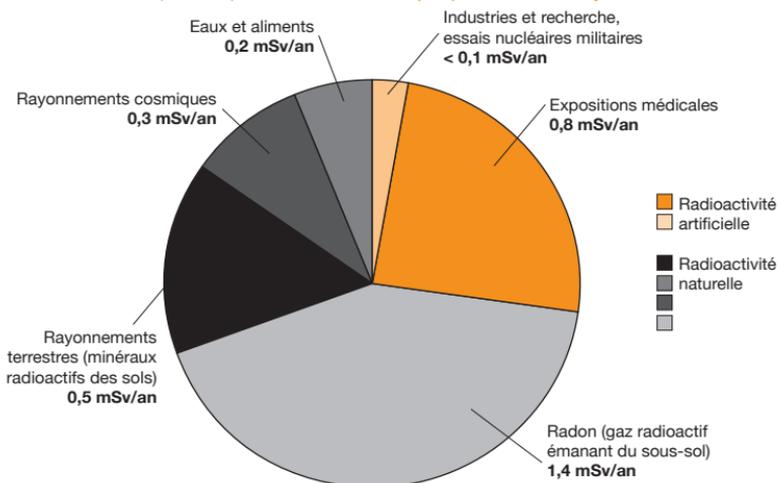
© Yvamed/CEA

## 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
naturelle	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>
artificielle	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>

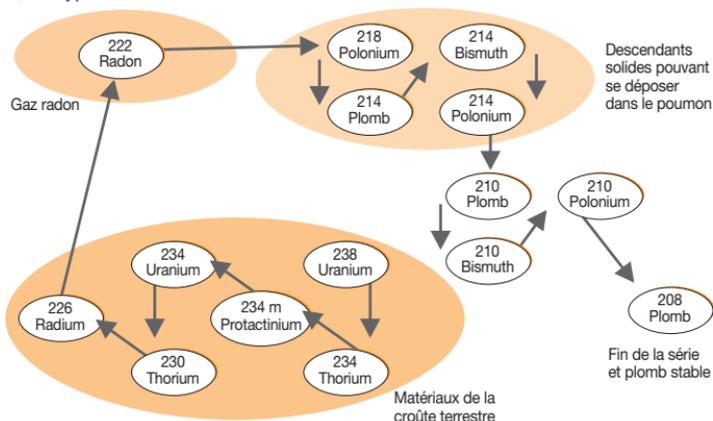
(1) Ces valeurs sont des ordres de grandeur pouvant varier considérablement d'un cas à l'autre.  
Source : OCDE-AEN et CEA

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



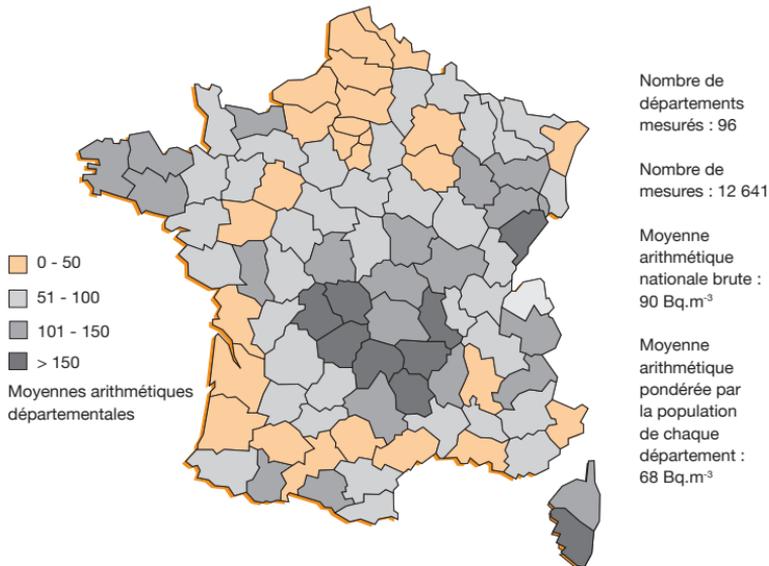
## Le radon

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



Source : CEA/IRSN

## Carte des activités volumiques du radon dans les habitations, en France Bilan de 1982 à 2000



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

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

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

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

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

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

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

Source : *Unsclear*

## L'activité radioactive - exemples

### Examples of natural or human generated activity

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

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

#### Exemples de radioactivité naturelle :

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

#### Exemples de radioactivité artificielle en médecine :

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

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

Nature	Activité
Combustible usé en sortie de réacteur (1/4 de cœur déchargé)	$10^{19}$ 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.

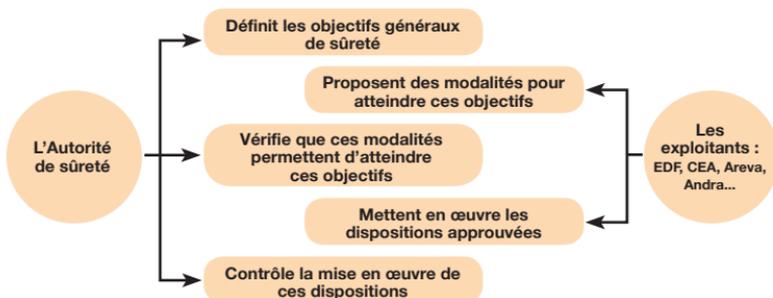
### L'Autorité de sûreté

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

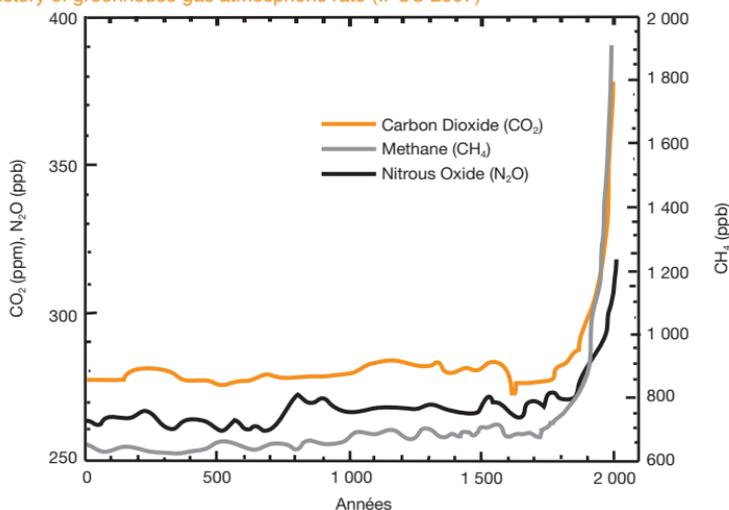
### Qu'est-ce que l'effet de serre ?

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)



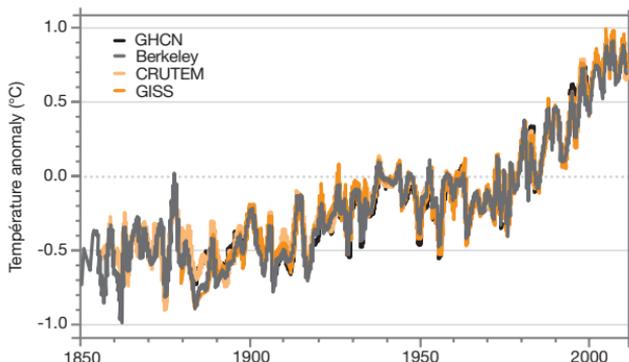
ppm = partie par million

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

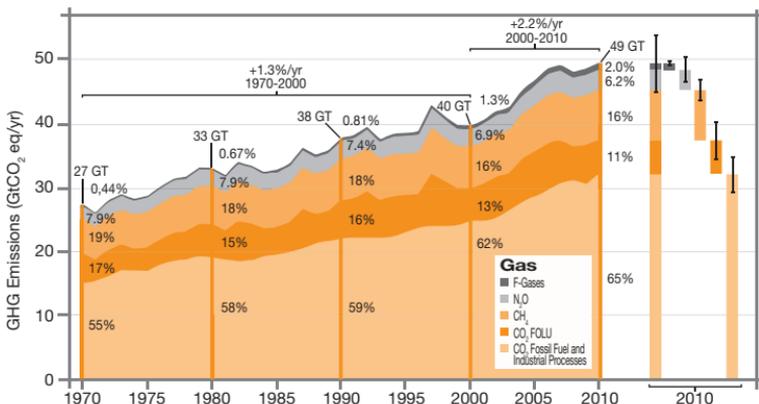
### Caractéristiques principales des RCP\*

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

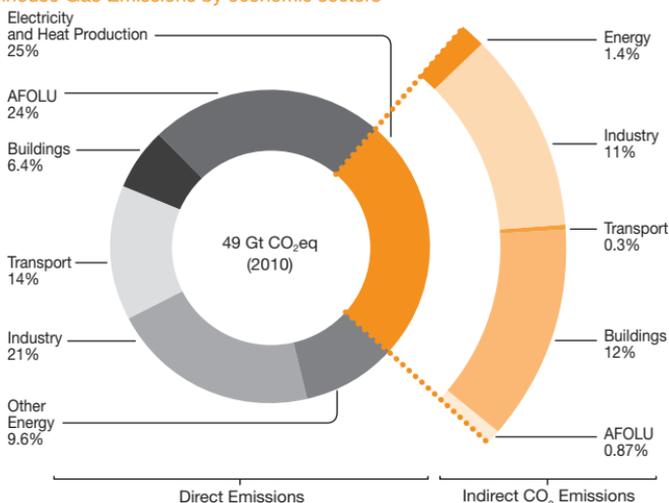
Source : MEDDE/SCEE/ONERC 2013

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

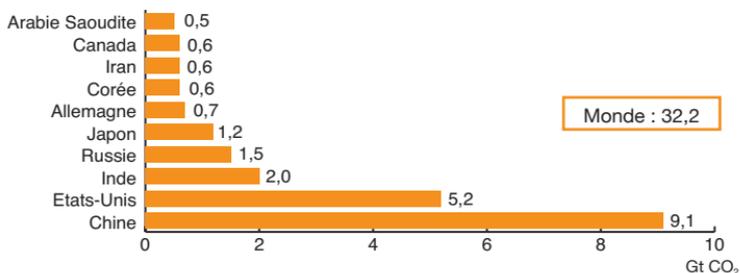


The inner circle shows direct GHG emission shares (% of total anthropogenic GHG emissions) of five different economic sectors during 2010. The pull-out to the right shows how indirect CO<sub>2</sub> emission shares from electricity and heat production are attributed to sectors of final energy use.

Source : IPCC 2014

## Les plus gros émetteurs de CO<sub>2</sub> en 2014

### The 10 biggest CO<sub>2</sub> emitters in 2014



Source : CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion, AIE, éd. 2016

## 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	11
Hydraulique pompage	140
Gaz (CC)	438
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, EDF R&D

## Principaux événements sur les changements climatiques

### *Au niveau mondial,*

- Mai 1992 : lors de la conférence de Rio de Janeiro, adoption par les Nations Unies de la convention-cadre sur les changements climatiques (CCNUCC)
- Décembre 1997 : ratification du Protocole de Kyoto (à l'exclusion des Etats-Unis)
- 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 d'objectifs non contraignants de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour 2020 par certains pays.
- 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 : négociations post Kyoto à Paris (COP21), accord entré en vigueur le 4 novembre 2016 (réserves émises depuis par le président Donald Trump)

### *Au niveau européen,*

- Janvier 2005 : entrée en vigueur du système européen d'échange des quotas d'émission de gaz à effet de serre (EU-ETS)
- Décembre 2008 : adoption du Paquet Energie Climat
- Mars 2011 : adoption de la feuille de route climat 2050
- Octobre 2014 : adoption du Paquet Energie Climat 2030
- Novembre 2016 : publication du Paquet Energie Propre

### *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)
- Novembre 2015 : publication de la SNBC (Stratégie Nationale Bas Carbone)
- Octobre 2016 : publication de la première PPE (Programmation Pluriannuelle de l'Energie)

## 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 substitués des chlorofluorocarbures (CFC, interdits par le protocole de Montréal sur la production de la couche d'ozone) : l'hydrofluorocarbonate (HFC), le perfluorocarbonate (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>). Les pays en voie de développement ne sont pas concernés par ces engagements chiffrés.

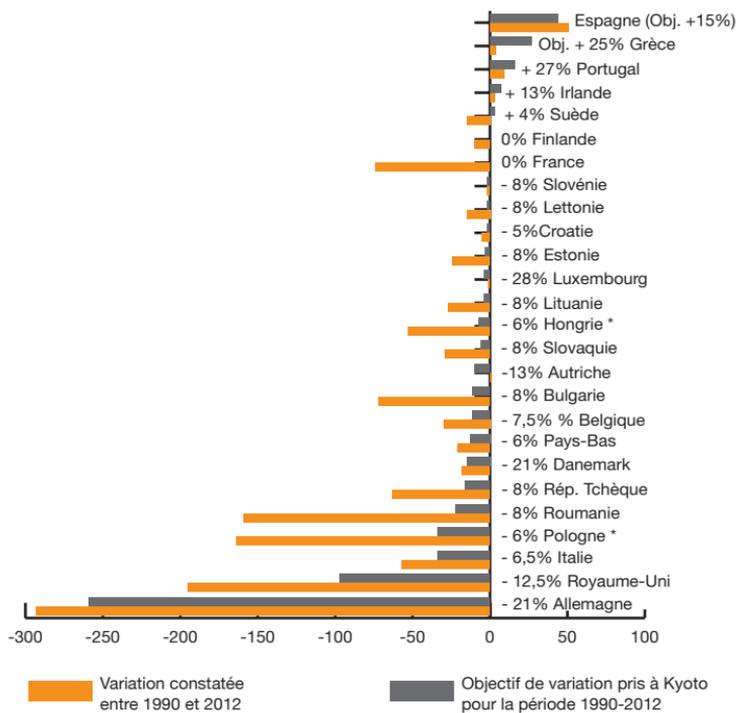
« L'annexe B » est issu de « l'annexe 1 » de la Convention-cadre sur les changements climatiques (New York 1992) signée à Rio la même année.

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)



\* Estimation 1990

Source : Annual European Union GHG inventory 1990-2011 and inventory report 2013, 2013 EEA

## Monde : évolution des émissions de CO<sub>2</sub> liées à la combustion

World: evolution of CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion

Mt CO <sub>2</sub> Mt of CO <sub>2</sub>	1971	1980	1990	2000	2005	2010	2013	2014	%/an 1990- 2014 %/year	% 1990- 2014 %
Amérique OCDE <sup>(1)</sup> OECD America <sup>(1)</sup>	4 743	5 243	5 508	6 567	6 702	6 379	6 183	6 238	0,5	12,3
dont Etats-Unis of which USA	4 288	4 595	4 803	5 643	5 702	5 347	5 103	5 176	0,2	6,3
Amérique non OCDE Non OECD America	337	506	553	781	855	1 022	1 124	1 174	2,9	103,3
dont Brésil of which Brazil	88	168	184	292	311	371	451	476	3,7	145,3
Europe OCDE <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	3 625	4 101	3 900	3 893	4 028	3 793	3 560	3 392	-0,4	-8,7
Union européenne 28 European Union 28	-	-	4 024	3 787	3 920	3 612	3 348	3 160	-0,7	-16,8
dont France of which France	423	455	346	365	370	340	317	286	-0,3	-8,4
Europe non-OCDE et Eurasie <sup>(3)</sup> Non OECD-Europe and Eurasia <sup>(3)</sup>	2 188	3 293	3 940	2 377	2 471	2 537	2 569	2 446	-1,7	-34,8
Moyen-Orient Middle East	96	303	536	880	1 148	1 490	1 654	1 728	4,6	208,5
Afrique Africa	249	398	529	658	857	996	1 073	1 105	2,9	102,7
Asie Asia	1 206	2 065	3 319	5 145	7 881	10 956	12 578	12 942	5,5	279,0
dont Chine of which China	789,4	1 378,4	2 109	3 127	5 399	7 749	9 026	9 135	6,0	327,9
dont Inde of which India	181	262	530	890	1 080	1 594	1 853	2 020	5,1	249,3
OCDE Asie Océanie <sup>(4)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(4)</sup>	974	1 238	1 587	1 992	2 100	2 151	2 284	2 226	1,5	43,9
<b>Mond World</b>	<b>13 942,2</b>	<b>17 706</b>	<b>20 503</b>	<b>23 145</b>	<b>27 038</b>	<b>30 450</b>	<b>32 192</b>	<b>32 381</b>	<b>1,8</b>	<b>57,0</b>
dont OCDE of which OECD	9 342	10 582	10 996	12 452	12 830	12 323	12 027	11 856	0,4	9,4
dont soutes maritimes of which marine bunkers	354	357	372	498	576	669	616	626	2,0	65,5
dont soutes aéronautiques of which aviation bunkers	169	202	259	354	421	457	490	504	2,6	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, 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 : CO<sub>2</sub> Emission from fuel combustion, AIE, éd. 2016

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	2014
<b>Amérique OCDE</b> <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
<b>Amérique non OCDE</b> 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
<b>Europe OCDE</b> <sup>(2)</sup> OECD Europe <sup>(2)</sup>	8,1	8,7	7,8	7,5	6,9	6,1
<b>Union européenne 28</b> European Union 28	-	-	8,4	7,8	7,2	6,2
<b>dont France</b> of which France	<b>8,1</b>	<b>8,3</b>	<b>5,9</b>	<b>6,0</b>	<b>5,2</b>	<b>4,3</b>
<b>Europe non-OCDE et Eurasie</b> <sup>(3)</sup> Non OECD Europe and Eurasia <sup>(3)</sup>	7,4	10,3	11,5	7,0	7,5	7,1
Moyen Orient Middle East	1,5	3,4	4,2	5,5	7,3	7,7
Afrique Africa	0,7	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0
Asie hors Chine Asia exclusive of China	0,4	0,5	0,7	1,0	1,4	1,6
dont Inde of which India	0,3	0,4	0,6	0,9	1,3	1,6
Chine China	0,9	1,4	1,9	2,5	5,8	6,7
<b>OCDE Asie Océanie</b> <sup>(4)</sup> OECD Asia Oceania <sup>(4)</sup>	6,2	7,0	8,3	9,8	10,2	10,4
<b>Monde World</b>	<b>3,7</b>	<b>4,0</b>	<b>3,9</b>	<b>3,8</b>	<b>4,4</b>	<b>4,5</b>
OCDE OECD	10,4	10,7	10,3	10,8	10,0	9,4

(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, 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 2016

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\$2010 selon PPA kg CO <sub>2</sub> / US\$ using 2010 prices and PPP	1971	1980	1990	2000	2010	2013	2014
<b>Amérique OCDE</b> <sup>(1)</sup> OECD America (1)	0,80	0,65	0,50	0,42	0,35	0,32	0,31
dont Etats-Unis of which USA	0,87	0,70	0,53	0,44	0,36	0,32	0,32
<b>Amérique non OCDE</b> Non OECD America	0,21	0,19	0,18	0,20	0,18	0,17	0,18
dont Brésil of which Brazil	0,14	0,13	0,12	0,15	0,13	0,15	0,16
<b>Europe OCDE</b> <sup>(2)</sup> OECD Europe (2)	0,50	0,43	0,32	0,25	0,21	0,19	0,18
<b>Union européenne 28</b> European Union 28	-	-	0,34	0,26	0,22	0,20	0,18
<b>dont France</b> of which France	<b>0,44</b>	<b>0,35</b>	<b>0,21</b>	<b>0,18</b>	<b>0,15</b>	<b>0,13</b>	<b>0,12</b>
<b>Europe non OCDE et Eurasie</b> <sup>(3)</sup> Non-OECD Europe and Eurasia (3)	0,97	0,93	0,88	0,79	0,51	0,47	0,44
<b>Moyen Orient</b> Middle East	0,09	0,18	0,29	0,33	0,34	0,34	0,36
<b>Afrique</b> Africa	0,20	0,23	0,25	0,25	0,22	0,22	0,22
<b>Asie hors Chine</b> Asia exclusive of China	0,26	0,27	0,27	0,28	0,25	0,24	0,24
dont Inde of which India	0,27	0,30	0,35	0,34	0,30	0,29	0,29
<b>Chine</b> China	1,79	1,79	1,15	0,66	0,61	0,56	0,53
<b>OCDE Asie Océanie</b> <sup>(4)</sup> OECD Asia Oceania (4)	0,49	0,42	0,34	0,34	0,30	0,30	0,29
<b>Monde</b> World	<b>0,60</b>	<b>0,53</b>	<b>0,45</b>	<b>0,38</b>	<b>0,34</b>	<b>0,33</b>	<b>0,32</b>
OCDE OECD	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,26	0,26

(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, Azerbaijan, Belarus, Bosnia-Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, Kyrgyzstan, 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 2016

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	2014
Allemagne Germany	12,5	13,4	11,9	10,0	9,5	8,9
Autriche Austria	6,5	7,2	7,3	7,7	8,2	7,1
Belgique Belgium	12,2	12,7	10,7	11,1	9,7	7,8
Bulgarie Bulgaria	7,5	9,6	8,6	5,2	6,0	5,8
Chypre Cyprus	2,8	5,1	6,8	9,1	8,9	6,7
Danemark Denmark	11,2	12,3	9,9	9,5	8,5	6,1
Espagne Spain	3,4	4,9	5,2	6,9	5,6	5,0
Estonie Estonia	-	-	22,7	10,4	14,0	13,3
Finlande Finland	8,6	11,5	10,8	10,5	11,5	8,3
<b>France</b>	<b>8,1</b>	<b>8,3</b>	<b>5,9</b>	<b>6,0</b>	<b>5,2</b>	<b>4,3</b>
Grèce Greece	2,8	4,6	6,8	8,1	7,5	6,0
Hongrie Hungary	5,8	7,7	6,3	5,2	4,8	4,1
Irlande Ireland	7,3	7,6	8,6	10,7	8,6	7,3
Italie Italy	5,4	6,3	6,9	7,4	6,6	5,3
Lettonie Latvia	-	-	7,1	2,9	3,9	3,4
Lituanie Lithuania	-	-	8,7	2,9	3,9	3,5
Luxembourg	48,1	34,2	28,1	18,4	21,0	16,6
Malte Malta	2,2	3,1	6,5	5,6	6,2	5,5
Pays-Bas Netherlands	9,7	10,3	9,7	10,1	10,2	8,8
Pologne Poland	8,8	11,7	9,1	7,6	8,0	7,3
Portugal	1,7	2,4	3,8	5,6	4,5	4,1
Rep. Tchèque Czech Republic	15,6	16,3	14,5	11,8	10,6	9,2
Rep. Slovaque Slovak Republic	8,5	11,2	10,4	6,8	6,4	5,4
Roumanie Romania	5,6	8,0	7,3	3,8	3,7	3,4
Royaume-Uni United Kingdom	11,1	10,1	9,6	8,9	7,6	6,3
Slovénie Slovenia	-	-	6,8	7,1	7,5	6,2
Suède Sweden	10,1	8,8	6,1	5,9	4,9	3,9
<b>Union européenne 28</b>			<b>8,4</b>	<b>7,8</b>	<b>7,2</b>	<b>6,2</b>
<b>European Union 28</b>						
Canada	15,5	17,2	15,2	16,8	15,5	15,6
Chine China	0,9	1,4	1,9	2,5	5,8	6,7
Etats-Unis United States	20,7	20,2	19,2	20,0	17,3	16,2
Japon Japan	7,2	7,4	8,4	9,0	8,7	9,4

Source : CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion, AIE éd 2016

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

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

kg CO <sub>2</sub> /US\$2010 selon PPA kg CO <sub>2</sub> /US\$ using 2010 prices and PPP	1971	1980	1990	2000	2010	2013	2014
Allemagne <i>Germany</i>	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
Autriche <i>Austria</i>	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Belgique <i>Belgium</i>	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
Bulgarie <i>Bulgaria</i>	1,9	1,4	0,9	0,6	0,4	0,3	0,4
Chypre <i>Cyprus</i>	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
Danemark <i>Denmark</i>	0,5	0,5	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Espagne <i>Spain</i>	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Estonie <i>Estonia</i>	-	-	1,7	0,7	0,7	0,6	0,5
Finlande <i>Finland</i>	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
<b>France</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
Grèce <i>Greece</i>	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Hongrie <i>Hungary</i>	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
Irlande <i>Ireland</i>	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
Italie <i>Italy</i>	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Lettonie <i>Latvia</i>	-	-	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2
Lituanie <i>Lithuania</i>	-	-	0,6	0,3	0,2	0,2	0,1
Luxembourg	1,7	1,0	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2
Malte <i>Malta</i>	0,4	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
Pays-Bas <i>Netherlands</i>	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
Pologne <i>Poland</i>	1,0	1,1	0,9	0,5	0,4	0,3	0,3
Portugal	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Rép. Tchèque <i>Czech Republic</i>	1,1	1,0	0,8	0,6	0,4	0,4	0,3
Rép. Slovaque <i>Slovak Republic</i>	0,8	0,9	0,7	0,5	0,3	0,2	0,2
Roumanie <i>Romania</i>	1,1	0,8	0,7	0,4	0,2	0,2	0,2
Royaume-Uni <i>United Kingdom</i>	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
Slovénie <i>Slovenia</i>	-	-	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
Suède <i>Sweden</i>	0,5	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
<b>Union européenne 28</b> <b>European Union 28</b>	-	-	<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>
Canada	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
Chine <i>China</i>	1,8	1,8	1,2	0,7	0,6	0,6	0,5
Etats-Unis <i>United States</i>	0,9	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3
Japon <i>Japan</i>	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 2016

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	2013	2014
Allemagne <i>Germany</i>	624	601	542	506	475	489	474
Autriche <i>Austria</i>	245	211	175	225	200	165	151
Belgique <i>Belgium</i>	358	373	299	281	222	198	207
Bulgarie <i>Bulgaria</i>	776	589	487	517	553	507	505
Chypre <i>Cyprus</i>	847	831	846	796	712	646	658
Danemark <i>Denmark</i>	682	596	452	374	362	300	255
Espagne <i>Spain</i>	436	462	441	402	240	245	255
Estonie <i>Estonia</i>	962	1 095	1 082	1 067	1 031	1 016	993
Finlande <i>Finland</i>	193	227	178	168	234	175	147
<b>France</b>	<b>108</b>	<b>74</b>	<b>77</b>	<b>81</b>	<b>80</b>	<b>64</b>	<b>41</b>
Grèce <i>Greece</i>	1 007	964	836	793	730	649	670
Hongrie <i>Hungary</i>	503	519	473	376	319	292	281
Irlande <i>Ireland</i>	750	736	650	590	460	435	425
Italie <i>Italy</i>	581	551	502	491	410	343	331
Lettonie <i>Latvia</i>	116	135	136	89	120	134	130
Lituanie <i>Lithuania</i>	159	66	100	101	340	204	184
Luxembourg	2 769	1 861	467	345	341	306	304
Malte <i>Malta</i>	1 609	968	827	1 044	879	727	713
Pays-Bas <i>Netherlands</i>	616	561	500	479	421	445	473
Pologne <i>Poland</i>	1 009	924	884	838	800	771	755
Portugal	527	585	493	527	257	281	271
Rép. Tchèque <i>Czech Republic</i>	760	811	734	625	599	516	504
Rép. Slovaque <i>Slovak Republic</i>	398	371	251	226	201	176	162
Roumanie <i>Romania</i>	865	755	589	502	420	356	320
Royaume-Uni <i>United Kingdom</i>	686	538	480	501	453	461	413
Slovénie <i>Slovenia</i>	438	390	350	356	331	319	226
Suède <i>Sweden</i>	12	22	22	20	26	13	11
<b>Union européenne 28</b> <b>European Union 28</b>	<b>504</b>	<b>452</b>	<b>409</b>	<b>396</b>	<b>352</b>	<b>337</b>	<b>321</b>
Canada	200	179	220	200	183	150	145
Chine <i>China</i>	911	918	893	878	759	710	681
Etats-Unis <i>United States</i>	593	601	604	586	530	488	486
Japon <i>Japan</i>	452	422	422	448	430	571	556

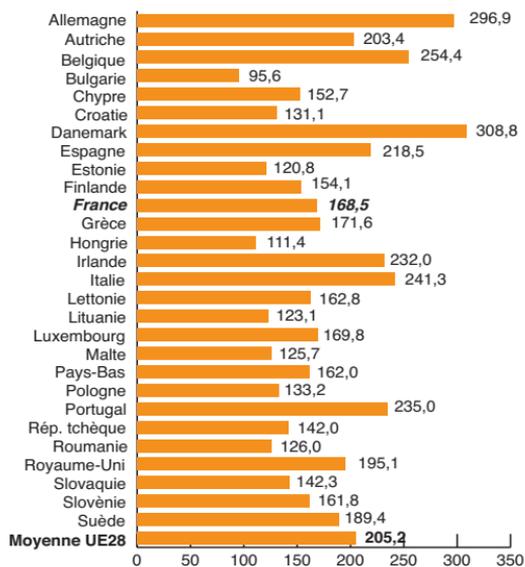
\* CO<sub>2</sub> emissions from fossil fuels consumed for electricity generation, in both electricity-only combined heat and power plants, divided by output of electricity generated from all fossil and non fossil sources. Both main activity producers and autoproducers have been included in the calculation.

Source : CO<sub>2</sub> Emissions from fuel combustion, AIE éd 2016

## DONNÉES ÉCONOMIQUES

Prix TTC € / MWh 2016	
Allemagne	296,9
Autriche	203,4
Belgique	254,4
Bulgarie	95,6
Chypre	152,7
Croatie	131,1
Danemark	308,8
Espagne	218,5
Estonie	120,8
Finlande	154,1
<b>France</b>	<b>168,5</b>
Grèce	171,6
Hongrie	111,4
Irlande	232,0
Italie	241,3
Lettonie	162,8
Lituanie	123,1
Luxembourg	169,8
Malte	125,7
Pays-Bas	162,0
Pologne	133,2
Portugal	235,0
Rép. Tchèque	142,0
Roumanie	126,0
Royaume-Uni	195,1
Slovaquie	142,3
Slovénie	161,8
Suède	189,4
<b>Moyenne UE 28</b>	<b>205,2</b>

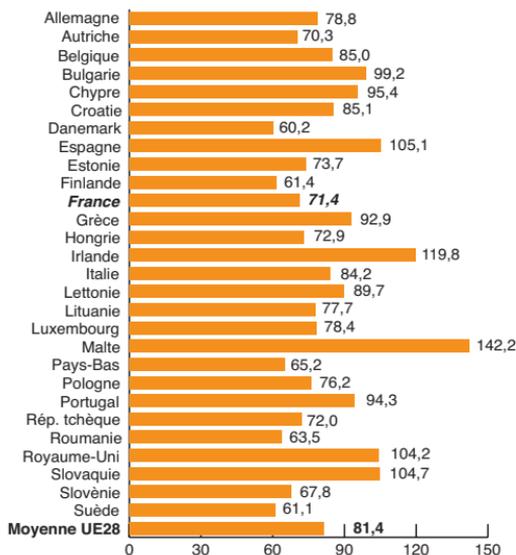
Prix TTC / MWh de l'électricité pour les ménages de taille moyenne - 2016



Source : Eurostat

Prix TTC € / MWh 2016	
Allemagne	78,8
Autriche	70,3
Belgique	85,0
Bulgarie	99,2
Chypre	95,4
Croatie	85,1
Danemark	60,2
Espagne	105,1
Estonie	73,7
Finlande	61,4
<b>France</b>	<b>71,4</b>
Grèce	92,9
Hongrie	72,9
Irlande	119,8
Italie	84,2
Lettonie	89,7
Lituanie	77,7
Luxembourg	78,4
Malte	142,2
Pays-Bas	65,2
Pologne	76,2
Portugal	94,3
Rép. tchèque	72,0
Roumanie	63,5
Royaume-Uni	104,2
Slovaquie	104,7
Slovénie	67,8
Suède	61,1
<b>Moyenne UE 28</b>	<b>81,4</b>

## Prix TTC / MWh de l'électricité pour les industries de taille moyenne - 2016



Source : Eurostat

### France : Contribution Climat Energie ou taxe Carbone

Les objectifs d'évolution de la Contribution Climat Energie (CCE ou taxe carbone) fixés par les lois de la finance et la LTECV, sont rappelés ci-dessous :

#### Trajectoire d'évolution de la CCE (en euros par tonne de CO<sub>2</sub>)

Année Year	2014	2015	2016	2017	2018 (prévision)	2019 (prévision)	2020 (prévision)	2030 (prévision)
Valeur de la tonne CO <sub>2</sub>	7	14,5	22	30,5	39	47,5	56	100

Source : Lois de finances pour 2014, 2015, 2016 et LTECV.

## 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	2015	2016
Exemples de prix de l'électricité Examples of Electricity prices							
Domestique Residential 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	14,78	15,29
> 3 kVA	10,6	11,53	10,28	10,57	10,89	14,78	14,81
Industriel Industrial 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	12,02	12,02
Heures creuses	5,14	5,49	5,26	5,38	6,05	8,64	9,42
Exemples de prix du gaz (Proche banlieue parisienne hors Paris) Examples of gas prices (Paris suburbs area excluding Paris)							
Domestique Residential Prix de 100 kWh PCS <sup>(1)</sup> , en € TTC, simple tarif Price of 100 kWh GCV <sup>(1)</sup> in € including taxes, simple tariff							
Tarif de base basic price	5,28	4,97	5,15	6,36	8,47	9,92	8,97
Industriel Industrial 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	4,70	4,03
Été Summer	1,52	1,56	1,64	2,21	2,63	2,92	3,14
Exemples de prix du fioul (moyenne France entière) Examples of fuel oil prices (France average)							
Domestique Residential 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	7,08	6,39
Industriel Industrial 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
BTS Low percentage	nd	1,04	1,76	2,23	nd	nd	nd
TBTS Very low percentage	nd	1,12	1,92	2,39	3,72	3,36	3,11

(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 2017, Observatoire de l'énergie

Mémento sur l'énergie 2017 - CEA

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

France: Uranium prices (Euratom average)

		1980	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016
Prix moyen pondéré des contrats à long terme	\$/lb <sup>(1)</sup>	36	29,4	17,5	13,1	16,1	31,45	40,24	36,88
Long term contracts average prices	€/kg <sup>(2)</sup>	67,2	60	34,75	37	33,6	61,68	94,30	86,62
Prix moyen annuel des échanges spot	\$/lb <sup>(1)</sup>	35	9,7	7,7	8,1	21,2	40,53	37,87	37,71
Spot price	€/kg <sup>(2)</sup>	65,34	19,75	15,25	22,8	44,3	79,48	88,73	88,56

(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 2016

## France : prix CAF des énergies importées

France: CIF prices of imported energy

Monnaie courante Legal currency	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Cours internationaux moyens</b> International average price						
Brent daté (\$/bl)	79,44	111,2	111,7	108,7	99,02	52,36
Brent spot IPE (\$/bl)	80,2	110,8	111,7	108,8	99,51	53,64
Gaz NBP, cours moyen spot (€/MWh)						
NBP Gas, spot average price (€/MWh)	16,75	22,19	25,13	27,38	21,18	20,07
Dollar en euro	0,76	0,72	0,78	0,75	0,75	0,9
Dollar in euro						
<b>Prix moyen à l'importation</b> Average importation price						
CMS (€/t) SMF (€/t)	111,8	140,6	132,4	100,7	96,08	91,82
Pétrole brut (€/t)	445	597,2	653,6	618,7	569,02	367,18
Crude oil						
Pétrole brut (\$/bl)	80,43	113,4	114,7	112,1	103,71	55,4
Crude oil						
Produits pétroliers raffinés (€/t)						
Petroleum products (€/t)	493,6	636,2	725,6	684,4	624,24	465,07
Électricité exportée (c€/kWh)	4,46	4,78	4,48	4,12	3,38	3,78

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 2017, Observatoire de l'énergie



# GÉNÉRALITÉS

## TABLEAU DE MENDELÉÏEV

### Tableau périodique des éléments

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H hydrogène 1,00784	2 He hélium 4,00260	3 Li lithium 6,941	4 Be beryllium 9,01218	5 B bor 10,811	6 C carbone 12,0107	7 N azote 14,0064	8 O oxygène 15,9994	9 F fluor 18,9984	10 Ne néon 20,1797	11 Na sodium 22,98976928	12 Mg magnésium 24,304	13 Al aluminium 26,9815386	14 Si silicium 28,0855	15 P phosphore 30,973762	16 S soufre 32,065	17 Cl chlore 35,453	18 Ar argon 39,9624
19 K potassium 39,0983	20 Ca calcium 40,078	21 Sc scandium 44,955912	22 Ti titane 47,88	23 V vanadium 50,9415	24 Cr chrome 51,9961	25 Mn manganèse 54,938045	26 Fe fer 55,845	27 Co cobalt 58,933195	28 Ni nickel 58,6934	29 Cu cuivre 63,546	30 Zn zinc 65,38	31 Ga gallium 69,723	32 Ge germanium 72,630	33 As arsenic 74,9216	34 Se sélénium 78,96	35 Br brome 79,904	36 Kr krypton 83,801
37 Rb rubidium 85,4678	38 Sr strontium 87,62	39 Y yttrium 88,905848	40 Zr zirconium 91,224	41 Nb niobium 92,90638	42 Mo molybdène 95,94	43 Tc technétium 98,90625	44 Ru ruthénium 101,07	45 Rh rhodium 102,90550	46 Pd palladium 106,3635	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 127,60	53 I iode 126,90545	54 Xe xénon 131,29
55 Cs césium 132,90545196	56 Ba baryum 137,327	57 La lanthane	58 Ce cerium 140,12	59 Pr praseodyme 140,90766	60 Nd néodyme 144,242	61 Pm prométhium	62 Sm samarium 150,36	63 Eu europium 151,964	64 Gd gadolinium 157,25	65 Tb terbium 158,92532	66 Dy dysprosium 162,5001	67 Ho holmium 164,93033	68 Er erbium 167,259	69 Tm thulium 168,93032	70 Yb ytterbium 173,05448	71 Lu lutécium 174,967	
87 Fr francium	88 Ra radium	89 Ac actinides	90 Th thorium	91 Pa protactinium	92 U uranium	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am américium	96 Cm curium	97 Bk berkélium	98 Cf californium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelevium	102 No nobélium	103 Lr lawrencium	

numéro → Zs  
 atome → Fe  
 nom de l'élément → fer  
 masse atomique, basée sur <sup>12</sup>C → 55,845  
 0 : nombre de masse de l'isotope le plus stable

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

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.

Lanthanides →  
 Actinides →

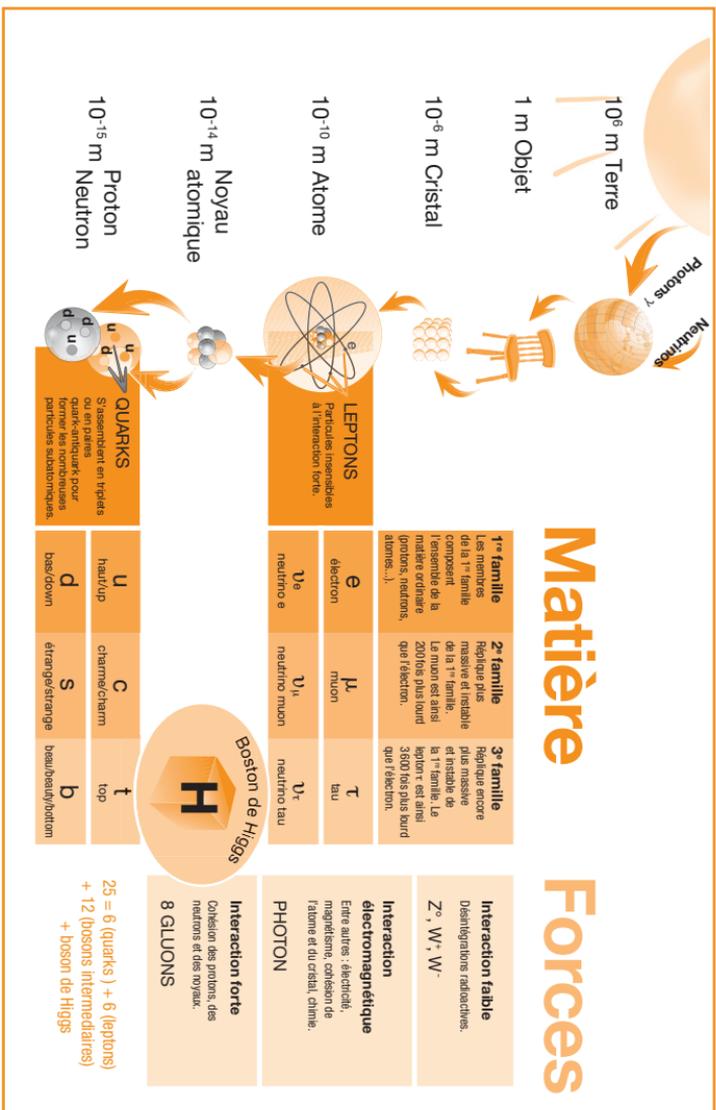
## SYMBOLES

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, médecine
						1,333		
36	Kr	85	F	10,71 a	0,15	0,5140		traceur, jauges
38	Sr	90	F	28,15 a	0,546			jauges
43	Tc	99	M	6,01 h		0,1405	0,02	médecine
						0,1426		
53	I	125	F	59,4 j		0,0355	0,03	médecine
53	I	131	F	8,02 j	0,606	0,3645		médecine
54	Xe	133	F	5,243 j	0,346	0,08100	0,031	médecine
54	Xe	133	M	2,19 j		0,2333	0,030	
55	Cs	134	F	2,065 a	0,658	0,6047		sans utilisation
						0,7958		
55	Cs	137	F	30,17 a	0,514	0,6616		jauges
63	Eu	152	F	13,5 a	0,69	0,3443		sans utilisation
					1,47	1,408		
77	Ir	192	F	73,83 j	0,672	0,3165		brachythérapie
						0,4681		radiographie $\gamma$
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
98	Cf	252	F	2,64 a	6,118	fission		diagraphie
						spontanée		

	UNITÉ	VALEUR EN SYSTÈME INTERNATIONAL (SI)	SYMBOLE
longueur (L)	fermi	$10^{-15}$ m	fm
	angström	$10^{-10}$ m	Å
	micron	$10^{-6}$ m	$\mu$
	mètre	1 m	m
	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	$9,109558 \cdot 10^{-31}$ kg	
	de masse atomique	$1,66 \cdot 10^{-27}$ kg	u.m.a.
	carat métrique	$2 \cdot 10^{-4}$ kg	
	kilogramme	1 kg	kg
	quintal	100 kg	q
	tonne	1 000 kg	t
	masse solaire	$1,991 \cdot 10^{30}$ kg	M
temps (T)	seconde	1 s	s
	jour solaire moyen	86 400 s	j, d
	jour sidéral	86 164,1 s	
température ( $\theta$ )	kelvin	1 K	K
	degré Celsius	1 K	°C
	électronvolt	11 605 K	eV
quantité de matière	mole	1 mol	mol
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

	UNITÉ	VALEUR EN SYSTÈME INTERNATIONAL (SI)	SYMBOLE
énergie, travail quantité de chaleur (ML <sup>2</sup> T <sup>-2</sup> )	électronvolt	1,602.10 <sup>-19</sup> J	eV
	erg	10 <sup>-7</sup> J	
	joule	1 J	J
	calorie	4,184 J	cal
	wattheure	3 600 J	Wh
	thermie	4,184.10 <sup>6</sup> J	th
puissance (ML <sup>2</sup> T <sup>-3</sup> )	watt	1 W	W
	cheval-vapeur	735,5 W	ch
pression (ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> )	barye	10 <sup>-1</sup> Pa	
	pascal	1 Pa	Pa
	torr	133,332 Pa	
	pièze	10 <sup>3</sup> Pa	pz
	centimètre de mercure	1 333,32 Pa	cmHg
	kilogramme-force	1,66.10 <sup>-27</sup> kg	u.m.a.
	par centimètre carré	9,8.10 <sup>4</sup> Pa	kgf/cm <sup>2</sup>
	bar	10 <sup>5</sup> Pa	
atmosphère	101 325 Pa		
viscosité dynamique (ML <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup> )	poise	0,1 PI	Po
	poiseuille	1 PI	PI
viscosité cinématique (L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup> )	stokes	10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	Sk
intensité électrique (I)	ampère	1 A	A
quantité d'électricité	franklin	3,33564.10 <sup>-10</sup> C	Fr
charge électrique (IT)	coulomb	1 C	C
	faraday	96 494 C	
potentiel (ML <sup>2</sup> T <sup>-3</sup> I <sup>-1</sup> )	volt	1 V	V
résistance (ML <sup>2</sup> T <sup>-3</sup> I <sup>-2</sup> )	ohm	1 Ω	Ω
capacité (M <sup>-1</sup> L <sup>-2</sup> T <sup>4</sup> I <sup>2</sup> )	centimètre	1,112.10 <sup>-2</sup> F	
	farad	1 F	F
conductance (M <sup>-1</sup> L <sup>-2</sup> T <sup>3</sup> I <sup>2</sup> )	siemens	1 S	S
inductance (ML <sup>2</sup> T <sup>-2</sup> I <sup>-2</sup> )	centimètre	10 <sup>-9</sup> H	cm
	henry	1 H	H
	gauss	10 <sup>-4</sup> T	Gs, G
induction magnétique (MT <sup>-2</sup> I <sup>-1</sup> )	tesla	1 T	T

	UNITÉ	VALEUR EN SYSTÈME INTERNATIONAL (SI)	SYMBOLE
flux d'induction magnétique ( $ML^2 T^{-2} I^{-1}$ )	maxwell	$10^{-8}$ Wb	Mx
	weber	1 Wb	Wb
moment magnétique ( $ML^3 T^{-2} I^{-1}$ )	debye	$3,355 \cdot 10^{-30}$ Cm	D
intensité lumineuse ( $I_e$ )	candela	1 cd	cd
luminance ( $L^{-2} I_e$ )	nit	1 nit	nit
	stilb	$10^4$ nit	sb
éclairage ( $L^{-2} I_e$ )	lux	1 lx	lx
	phot	$10^4$ lx	ph
flux lumineux ( $I_e$ )	lumen	$0,00147$ W (à $5\,550 \text{ \AA}$ )	lm
vergence ( $L^{-1}$ )	dioptrie	$1 \text{ m}^{-1}$	$\delta$
radioactivité (activité)	becquerel	1 Bq	Bq
	curie	$3,7 \cdot 10^{10}$ Bq (désintégrations par seconde)	Ci
radioactivité (dose)	röntgen	$2,58 \cdot 10^{-4}$ C/kg	R
	rad	$10^{-2}$ Gy	rad
	gray	1 Gy	Gy
information	bit	unité élémentaire de quantité d'information	
débit d'information	baud	1 bit par seconde	
atténuation	bel		B
	neper		Np
angle plan arc	seconde	$4,845 \cdot 10^{-6}$ rad	"
	minute	$2,9 \cdot 10^{-4}$ rad	'
	grade	0,0157079 rad	gr, G
	dégré	0,0174533 rad	°
	radian	1 rad	rad
angle solide	stéradian	1 sr	sr
	spat	$4\pi$ sr	sp

NB : en gras les unités de base du Système international.

Source : Encyclopædia Universalis, 1986.

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

Préfixe	Facteur	Symbole	Préfixe	Facteur	Symbole
exa	$10^{18}$	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

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

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 ^{\circ}\text{C} + 32$$

## 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...	$\text{NA}^{-2}$	(calculé)
permittivité du vide	$\epsilon_0$	$1/\mu_0 c^2$ = 8,854 187 817...	$10^{-12} \text{Fm}^{-1}$	(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
$1 \text{ u} = m_{\text{H}} = 1/12 \text{ m}(^{12}\text{C})$				

Source : Handbook of Chemistry and Physics, 74th 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 9 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.

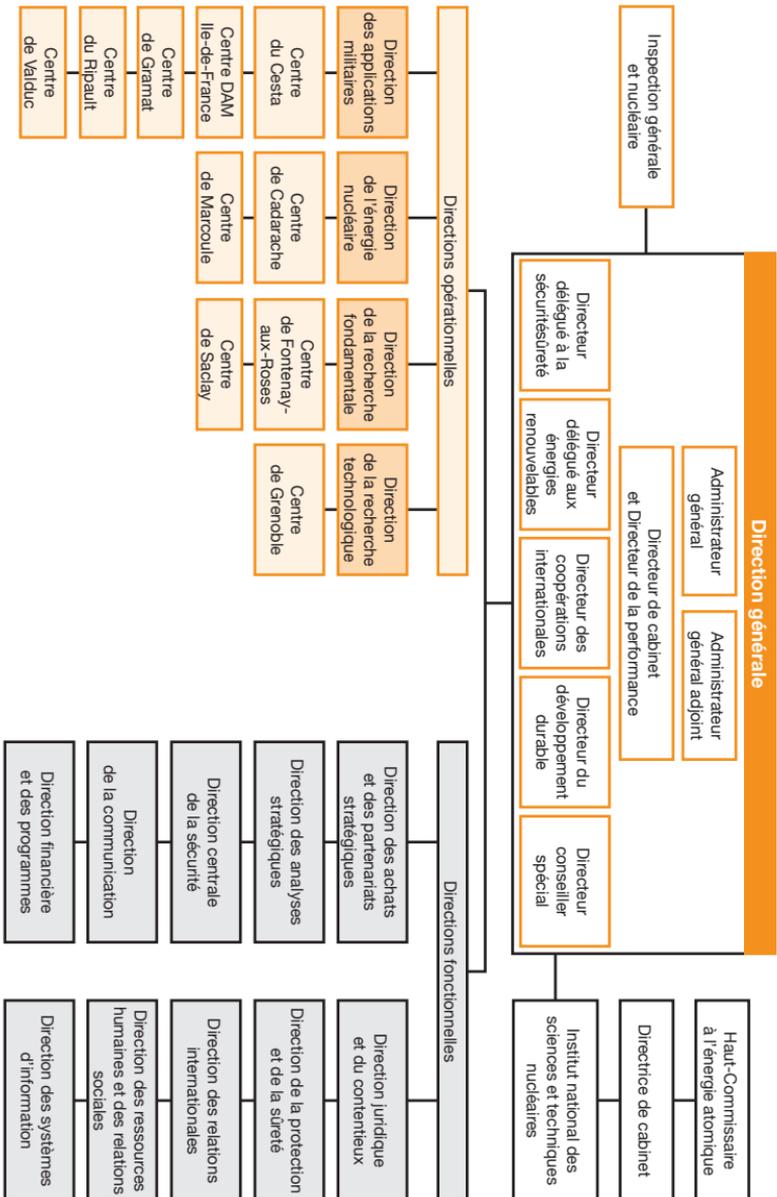
L'astrophysique et la physique des particules sont deux domaines où il est particulièrement présent, avec respectivement les grands instruments d'observation, au sol ou dans l'espace, et le LHC (Large Hadrons Collider à Genève) ou le Ganil (Grand accélérateur national d'ions lourds, à Caen).

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 Paris-Saclay**  
Etablissements 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 Paris-Saclay**  
Etablissements 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**

- **New AREVA Holding**  
1 place Jean Millier  
92400 Courbevoie  
tél.: 33 (0)1 34 96 00 00  
[www.new.aveva.com](http://www.new.aveva.com)
- **AREVA NP**  
Tour AREVA  
1 Place de la Coupole  
92084 Paris La Défense cedex  
tél : 01 47 96 12 12  
[www.aveva-np.com](http://www.aveva-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.ifpennergiesnouvelles.fr](http://www.ifpennergiesnouvelles.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 1<sup>er</sup>  
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)
- Elecnuc - 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)

