

MÉMENTO SUR L'ÉNERGIE

Energy handbook

édition
2015

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



MÉMENTO SUR L'ÉNERGIE 2015

La version 2015 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 “ Elecnuc ” donne un panorama complet des centrales nucléaires passées, présentes ou en construction dans le Monde.

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

**MÉMENTO SUR L'ÉNERGIE est disponible et
téléchargeable en PDF
sur le site 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 - Espace Publications**

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

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
CEA Saclay
Institut de technico-économie des systèmes énergétiques
Direction de l'énergie nucléaire
Bâtiment 524
91191 Gif-sur-Yvette cedex
E-mail : francoise.thais@cea.fr

Principaux messages issus de ce panorama énergétique mondial

1 - Ressources: les réserves prouvées mondiales en pétrole et en gaz se situent à hauteur respectivement de 52,5 et 54,1 fois la production mondiale de 2014, comparativement à 110 fois pour le charbon (p. 11).

2 - Evolution des besoins en énergie primaire : croissance de 1,7 %/an en moyenne dans le monde ces dernières années (1990-2013) dont forte croissance au Moyen Orient (4,7 %) et dans les pays en développement (ex : 3,8 % par an en Inde et 4,9 % en Chine) mais une stabilisation dans l'Union européenne sur la période (p. 18). Selon le scénario développé par l'AIE (p. 19), la croissance se prolongerait mais à un rythme un peu moindre d'ici 2030 (6,7 %).

3 - Part des énergies dans les besoins finaux en 2012 : domination très forte des combustibles fossiles dans la consommation finale d'énergie (66 % dont 41 % pour le seul pétrole). Le gaz naturel et l'électricité à hauteur respectivement de 15 et 18 % devancent la biomasse (13 %) et le charbon (10 %) (p. 21). D'ici 2030, l'AIE retient dans son scénario 2013 une situation semblable hormis pour l'électricité qui passerait à 22 % au détriment du pétrole, du charbon et de la biomasse (p. 21). Cette hausse de la part de l'électricité, qui est déjà visible dans les pays industrialisés, (ex : France, où elle est passée de 9,7 à 24,4 % entre 1973 et 2014, p. 26) est attendue dans de nombreux pays en développement.

4 - Consommation d'électricité : la consommation par habitant montre de fortes disparités dans le monde, entre 584 kWh/an pour toute l'Afrique, 3 766 kWh/an en Chine et 12 987 kWh/an aux Etats-Unis (p. 17). Cette situation montre l'ampleur des besoins en nouvelles capacités de production d'électricité. D'ici 2030, la production d'électricité pourrait progresser de 2,1 % par an dans le monde (p. 35) à comparer avec 1,7 % pour la demande finale totale d'énergie d'après l'AIE.

5 - Part des énergies dans la production mondiale d'électricité (p. 33) : le charbon domine avec 41 % de la production ; il est suivi par le gaz naturel, l'hydraulique et le nucléaire avec respectivement 21,8 %, 16,3 % et 10,6 %. Si le nucléaire a devancé pour la première fois le charbon dans l'Union européenne pour l'année 2011, il est à nouveau supplanté en 2013 (respectivement 27,1 % et 28 %), excepté dans certains pays (ex : France 74,7 % pour le nucléaire). Le scénario 2014 de l'AIE retient à partir de 2020 (p. 35) un maintien de la part du nucléaire dans la production mondiale à 12 % malgré une croissance en valeur absolue.

6 - Energies renouvelables dans la production électrique : hors hydraulique, faible part dans le total des capacités installées mais croissance rapide et désormais position notable en valeurs absolues (p. 13-14-15 et 31). Ainsi, les capacités PV qui augmentent rapidement excèdent 177 GWcrête en 2014, il en est de même pour les capacités éoliennes qui atteignent 370 GWe. L'hydraulique a produit 16,3 % de l'électricité mondiale en 2013, les autres énergies renouvelables 5,7 % (p. 33).

7 - Gaz à effet de serre : le CO₂ issu de la combustion des énergies fossiles est le premier contributeur des émissions (65 % voir p. 69) suivi de loin par le méthane (16 %) et le CO₂ issu de la déforestation (11 %). La Chine est le premier pays émetteur de GES en 2012 (9,1 GtCO₂), suivi par les Etats-Unis (5,2 GtCO₂, voir p. 70). Depuis 1990, les émissions mondiales ont augmenté de plus de 53 % (p. 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 entre 2013 et 2014 (p. 83). En 2014, le prix moyen de l'électricité facturé pour les industries (resp. ménages) de taille moyenne dans l'Union européenne était de 91,7 €/MWh (resp. 203,3), allant de 66,4 € pour la Finlande (resp. 83,2 pour la Bulgarie) à 186,1 € pour Malte (resp. 304,2 pour le Danemark (p. 79 et 80).

SOMMAIRE

pages

ÉNERGIE - UNITÉS ET FACTEURS DE CONVERSION RESSOURCES, CONSOMMATION ET PRODUCTION

5

RESSOURCES, CONSUMPTION AND PRODUCTION

TABLEAUX DE CONVERSION

Principales unités d'énergie	Main energy units	6
Principales unités de puissance	Main power units	6
Unités de volume métriques et anglo-saxonnes	Anglo-saxon and metric units conversion	6
Unités usuelles pour l'uranium	Common units for uranium	7
Table de conversion pour les composés de l'uranium		7
Conversion table for uranium compounds		
Pouvoir calorifique inférieur des charbons	Lower calorific value for coals	8
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	France: primary energy accountancy	9
Équivalence énergétique de l'uranium naturel	Energy equivalence for natural Uranium	10
Équivalence énergétique des combustibles fossiles	Energy equivalence for fossil fuels	10

RESSOURCES

Monde : réserves prouvées en énergies fossiles par zone géographique fin 2014		11
World: proved reserves of fossil fuels per geographical area at end 2014		
Monde : réserves d'uranium les plus importantes		12
World: most important uranium reserves		
Évolution 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 (2012)		15

CONSOMMATION

Scénario d'évolution de la population mondiale		15
Scenario of evolution of world population		
Monde : données générales pour 2013		16
World: general data for 2013		
Monde : approvisionnement total en énergie primaire		18
World: total primary energy supply		
Monde : scénario alternatif pour l'approvisionnement en énergie primaire		19
World: alternative scenario for primary energy supply		
Monde : consommation finale d'énergie en 2013		20
World: final consumption of energy for 2013		
Monde : scénario de référence pour la consommation finale d'énergie		21
World: reference scenario for final consumption of energy		
Europe : données générales pour 2013		22
Europe: general data for 2013		
Europe : consommation de biocarburants destinés au transport dans l'UE en 2014		24
Europe: biofuel consumption for transport in the European Union in 2014		
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 2014	29
France: energy balance for 2014	
PRODUCTION	
Monde : capacités électriques installées en 2012	31
World: 2012 electricity installed capacities	
Production d'électricité d'origine nucléaire par pays fin 2014	32
Electricity generation from nuclear power plants by country at the end of 2014	
Monde : production d'électricité par source en 2013	33
World: electricity generation by fuel for 2013	
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 2013 et objectifs 2020	37
Europe: share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy in 2013 and national overall targets in 2020	
France : production primaire d'énergies renouvelables	38
France: renewable energy production	
France : bilan électrique	38
France: electricity balance	
France : échanges contractuels transfrontaliers d'électricité en 2014	39
France: cross-border contractual electricity exchanges in 2014	
Puissances maximales appelées par le réseau en France	39
Peak load demand of the French network	
ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ET ÉLECTRONUCLÉAIRE	41
ELECTRICITY AND NUCLEAR POWER	
Principales caractéristiques des filières électronucléaires	42
Main characteristics of nuclear reactor types	
GESTION DU COMBUSTIBLE	
France : caractéristiques des REP 900, 1300, 1450 MWe	43
France: Characteristics of the 900, 1300 and 1450 MWe PWR's	
Parc électronucléaire français au 01/01/2015	44
Nuclear power plants in France - Status as of 2015/01/01	
France : évaluation des besoins en uranium et services du cycle du combustible REP	45
France: Uranium and fuel cycle services requirements	
Principales caractéristiques d'un réacteur à neutrons rapides	46
Le réacteur à neutrons rapides incinérateur d'actinides	46
The fast neutron reactor as an actinide incinerator	
CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE	
Gestion du combustible sur le parc REP d'EDF	47
Cycle simplifié du combustible nucléaire en France	48
Monde : besoins en uranium	49
World: Uranium requirements	
Définition de l'UTS	49
Monde : capacité nominale d'enrichissement de l'uranium	49
World: Uranium enrichment capacity	
Quantité d'uranium naturel et unités de travail de séparation nécessaires pour obtenir 1 kg d'uranium enrichi à un taux donné en fonction de la teneur en rejet	49
Natural Uranium and separative work units required to obtain 1 kg of enriched Uranium at a given yield as a function of the depletion yield	
Les procédés d'enrichissement isotopique de l'uranium	50
Fabrication de combustible : besoins et capacités de production dans l'OCDE	50
Fuel manufacture: requirements and capacities in OECD countries	

Usines de traitement des combustibles usés	
Used fuel reprocessing units	50
Les déchets produits en France	51
Classification des déchets	51
Waste classification	
La gestion des déchets radioactifs	53
Principaux éléments contenus dans les combustibles usés	54
Main elements comprised in used fuel	
Déchets ultimes issus du traitement du combustible d'un REP 1000 MWe	55
Ultimate waste from fuel reprocessing for a 1000 MWe PWR unit	
Effluents annuels dus au traitement du combustible d'un REP 1000 MWe	55
Waste generated annually by reprocessing the fuel of a 1000 MWe PWR unit	
Effluents et déchets produits en 1996 par les centrales nucléaires en France	55
Total amount of waste generated by the French nuclear power plants in 1996	
Volumes de résidus générés dans UP3	56
Volume of waste generated in the UP3 reprocessing plant	
INFORMATIONS GÉNÉRALES GENERALITIES	57
L'HOMME ET LES RAYONNEMENTS	
Quelques définitions	58
Grandeurs et unités propres aux rayonnements ionisants	Physical units for ionizing radiation 59
Décroissance de la radioactivité d'un radioélément, vie moyenne, période	59
Radioactive decay, mean life, half life	
Périodes effectives de quelques corps radioactifs	Effective half life for some radioelements 60
Pouvoir de pénétration des rayonnements ionisants	Radiation ionizing stopping power 60
Expositions aux rayonnements ionisants en France (hors activités professionnelles)	61
Ionizing radiation exposure in France (other than occupational)	
Expositions aux rayonnements ionisants de la population en France	61
Le radon	62
Carte des activités volumiques du radon dans les habitations en France	62
Exposition moyenne mondiale aux sources naturelles d'irradiation	63
World average exposure from natural sources	
L'activité radioactive, exemples	Examples of natural or human generated activity 64
RADIOPROTECTION ET SÛRETÉ NUCLÉAIRE	
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
ENVIRONNEMENT	
Qu'est-ce que l'effet de serre ?	67
Evolution des concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre au cours du temps (GIEC 2007)	67
History of Greenhouse gas atmospheric rate	
Anomalies de la température moyenne globale annuelle de l'air à la surface terrestre relatives au climat de la période 1961-1990 ; valeurs issues des dernières versions de 4 jeux de données différents (Berkeley, CRUTEM, GHCN et GISS)	68
Global annual average land-surface air temperature (LSAT) anomalies relative to a 1961-1990 climatology from the latest versions of four different data sets (Berkeley, CRUTEM, GHCN and GISS)	
Augmentation de la température globale moyenne d'équilibre à la surface terrestre par rapport au niveau pré-industriel	68
Global average Earth's surface temperature increasing compared to pre-industrial level	
Caractéristiques principales des RCP	68
Total annuel des émissions mondiales par groupe de gaz à effet de serre d'origine anthropogénique (1970-2010)	69
Total World annual anthropogenic GHG Emissions by Groups of Gases (1970-2010)	
Emissions de gaz à effet de serre par secteurs économiques	69
Greenhouse Gases Emission by economic sectors	
Les plus gros émetteurs de CO ₂ en 2012	70
The biggest CO ₂ emitters in 2012	
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 ₂	73
World: evolution of CO ₂ emissions	
Monde : émissions de CO ₂ par habitant provenant de combustibles fossiles	74
World: CO ₂ emissions per capita from fossil fuels	
Monde : émissions de CO ₂ par unité de PIB provenant de combustibles fossiles	75
World: CO ₂ emissions per GDP unit from fossil fuels	
Principaux gaz à effet de serre	75
Main Greenhouse gases	
Union européenne : émissions de CO ₂ par habitant provenant des combustibles fossiles	76
European Union: CO ₂ emissions per capita from fossil fuels	
Europe : émissions de CO ₂ par unité de PIB provenant des combustibles fossiles	77
Europe: CO ₂ emissions per GDP unit from fossil fuels	
Europe : émissions de CO ₂ par kWh dans le secteur de l'électricité	78
Europe: CO ₂ emissions per kWh from electricity generation	
DONNÉES ÉCONOMIQUES	
Prix TTC de l'électricité pour les ménages de taille moyenne - Année 2014	79
Prix TTC de l'électricité pour les industriels de taille moyenne - Année 2014	80
Exemples de prix moyens des énergies en France	81
Examples of average prices of energy in France	
Tarifs d'achat français de l'électricité produite par les énergies renouvelables et la cogénération	82
France : prix de l'uranium (moyenne zone Euratom)	83
France: Uranium prices (Euratom average)	
France : prix CAF des énergies importées	83
France: CIF prices of imported energies	
GÉNÉRALITÉS	
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
LE CEA - PRÉSENTATION	93
Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives	94
Organigramme du CEA	96
Pour plus d'informations sur le CEA	97
Pour plus d'informations sur le nucléaire	98
Pour plus d'informations sur l'énergie	99
Publications périodiques du CEA	101

ENERGIE

UNITÉS ET FACTEURS DE CONVERSION

**RESSOURCES, CONSOMMATION
ET PRODUCTION**

RESOURCES, CONSUMPTION AND PRODUCTION

TABLEAUX DE CONVERSION

Principales unités d'énergie

Main energy units

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

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

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

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

Principales unités de puissance

Main power units

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

Unités de volume métriques et anglo-saxonnes

Anglo-saxon and metric units conversion

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

Unités usuelles pour l'uranium

Common units for uranium

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

Table de conversion pour les composés de l'uranium

Conversion table for uranium compounds

	U	UO ₂	UO ₃	U ₃ O ₈	UF ₄	UF ₆	UNH ⁽¹⁾
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 ₂	1,134	1	0,944	0,962	0,860	0,767	0,538
UO ₃	1,202	1,059	1	1,019	0,911	0,813	0,570
U ₃ O ₈	1,179	1,040	0,981	1	0,894	0,797	0,559
UF ₄	1,319	1,163	1,098	1,119	1	0,892	0,625
UF ₆	1,479	1,304	1,231	1,254	1,121	1	0,701
UNH ⁽¹⁾	2,110	1,860	1,756	1,789	1,599	1,426	1

(1) Nitrate d'uranyle : UO₂ (NO₃)₂, 6 H₂O

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 (2011), memento 2015

Comparaison biocarburant – carburant d'origine pétrolière

Etant donné la différence de PCI :

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

1 litre de diesel = 1,06 litre de biodiesel

Données de base sur l'hydrogène

Basic data about hydrogen

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

(1) Pouvoir calorifique inférieur Low heating value

(2) Pouvoir calorifique supérieur High heating value

Source : AFH2

France : comptabilité de l'énergie primaire

France: primary energy accountancy

En 2002 l'Observatoire de l'énergie a décidé d'adopter la méthode utilisée par les organismes internationaux (AIE, Eurostat...). Cela modifie le coefficient de conversion de l'électricité (de kWh en tonne d'équivalent pétrole) et les soutes maritimes internationales.

Since 2002, the French Observatory of the energy decided to adopt the method used by the international organizations (IEA, Eurostat...). This changes the electricity conversion factor (from kWh to ton of oil equivalent) and international marine bunkers.

Energie ou vecteur Energy or vector	Unité physique Physical unit	Gigajoules (Gj) (PCI) (NCV)	Tep (PCI) Toe (NCV)
Charbon Coal			
• Houille Hard coal	1 t	26	26/42 ≈ 0,619
• Coke de houille Coal coke	1 t	28	28/42 ≈ 0,667
• Agglomérés et briquettes de lignite Lignite briquettes	1 t	32	32/42 ≈ 0,762
• Lignite et produits de récupération Lignite & recovered products	1 t	17	17/42 ≈ 0,405
Produits pétroliers Petroleum products			
• Pétrole brut, gazole/fioul domestique, produits à usages non énergétiques Crude oil, automotive diesel/domestic fuel oil, products for not enegy uses	1 t	42	1
• GPL LPG	1 t	46	46/42 ≈ 1,095
• Essences moteur et carburants Automotive gasoline and jet fuel	1 t	44	44/42 ≈ 1,048
• Fiouls lourds Heavy fuel oil	1 t	40	40/42 ≈ 0,952
• Coke de pétrole Petroleum coke	1 t	32	32/42 ≈ 0,762
Gaz naturel et industriel Natural and industrial gas	1 MWh PCS 1 MWh GCV	3,24	3,24/42 ≈ 0,077
Biocarburants Biofuels			
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
Bois Wood	1 stère	6,17	6,17/42 ≈ 0,147
Vecteur Electricité Electricity Vector			
• Production d'origine nucléaire Nuclear production	1 MWh	3,6	0,086/0,33 ≈ 0,2606
• Production d'origine géothermique Geothermal production	1 MWh	3,6	0,086/0,1 ≈ 0,86
• Autres types de production, échanges avec l'étranger et consommation Other types of production, international exchanges, consumption	1 MWh	3,6	3,6/42 ≈ 0,086
Vecteur Hydrogène Hydrogen Vector			
1 kg de H ₂ ≈ 11,126 Nm ³ de H ₂ ≈ 14,13 l de H ₂ (1 Nm ³ = 1 m ³ H ₂ 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) ⁽²⁾	1,433 tec	
1 tonne d'équivalent charbon (tec) PCI	29,3 GJ	0,697 tep	
1 000 m ³ 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) ⁽¹⁾	3,6 GJ	0,086 tep ⁽³⁾	0,26 tep ⁽⁴⁾
		(hydraulique)	(nucléaire)

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

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

(2) Plus exactement 41,868 GJ.

(3) 0,0857 tep

(4) 0,260606 tep

RESSOURCES

Monde : réserves prouvées en énergies fossiles par zone géographique fin 2014

World: proved reserves of fossil fuels per geographical area at end 2014

2014	Anthracite et bitumineux Anthracite & bituminous	Sous-bitumineux et lignite Sub-bituminous & lignite	Total Minéraux solides Coal total	Ratio R/P * Minéraux solides Coal R/P ratio
	Millions tonnes Million tons	Millions tonnes Million tons	Millions tonnes Million tons	Années Years
Amérique du Nord North America	112 835	132 253	245 088	248
Amérique centrale et du Sud South and Central America	7 282	7 359	14 641	142
Total Europe et Eurasie Europe & Eurasia total	92 557	217 981	310 538	268
Afrique } Moyen-Orient } Africa } Middle East }	32 722	214	32 936	122
Asie / Pacifique Asia / Pacific	157 803	130 525	288 328	51
Total Monde World total	403 199	488 332	891 531	110
dont OCDE of which OECD	155 494	229 321	384 815	191

* Reserves / production 2014

Source : BP Statistical Review of World Energy, juin 2015

2014	Pétrole Oil	Ratio R/P* Pétrole Oil R/P ratio	Gaz naturel Natural gas	Ratio R/P * Gaz naturel Natural gas R/P ratio
	Milliards tep Billion toe	Années Years	Mille milliards m³ Trillion m³	Années Years
Amérique du Nord North America	35,3	34,0	12,1	12,8
Amérique centrale et du Sud South and Central America	51,2	> 100	7,7	43,8
Total Europe et Eurasie Europe & Eurasia total	20,9	24,7	58,0	57,9
Afrique } Moyen-Orient } Africa } Middle East }	17,1	42,8	14,2	69,8
	109,7	77,8	79,8	> 100
Asie / Pacifique Asia / Pacific	5,7	14	15,3	28,7
Total Monde World total	239,8	52,5	187,1	54,1
dont OCDE of which OECD	37,3	30,3	19,5	15,6

* Reserves / production 2014

Source : BP Statistical Review of World Energy, juin 2015

Monde : réserves d'uranium les plus importantes

World: most important uranium reserves

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

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

Evolution de la capacité installée mondiale d'origine renouvelable

Renewable installed world capacity evolution

Monde World	Source	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
Puissance éolienne installée cumulée (GW)* Cumulative wind installed capacity (GW)*	GWEC (Global Wind Energy Council)	5	17	59	194	238	282 (dont 5,4 offshore)	318 (dont 7 offshore)	370 (>8,5 GW offshore)
Puissance PV installée cumulée (GWc) Cumulative PV installed capacity (GWc)	EPIA	1	1	5	41	71	102	139	177
Puissance solaire thermique installée cumulée (GWth) Cumulative solar thermal installed capacity (GWth)	IEA	ND	ND	ND	196	239	275	326	406
Puissance géothermie installée (GW) Cumulative geothermal installed capacity (GW)	REN21	6,8*	8,0*	8,9*	11	11	11	12	12,8

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

GIA: Geothermal Implementing Agreement

Source : REN 21 (Ed 2015)

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

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

	Eolien (GWh) Wind 2013	Eolien (GWh) Wind 2014**	Puissance éolienne installée dans l'UE (MWc) Cumulated installed wind power in the EU fin 2013 end of 2013	Puissance éolienne installée dans l'UE (MWc) Installed wind power in the EU fin 2014* end of 2014*	PV (GWh) Solar 2013	PV (GWh) Solar 2014**	Puissance photovolt. cumulée dans l'UE (MWc) Cumulated photovoltaic capacity in the EU fin 2014* end of 2014*	Puissance photovolt. cumulée dans l'UE (MW) Cumulated photovoltaic capacity in the EU fin 2014* end of 2014*
							Réseau On grid	Hors réseau Off grid
Allemagne Germany	51 700,0	55 969,0	34 660,0	40 456,0	31 010,0	34 930,0	38 236,0	65,0
Autriche Austria	3 151,0	3 033,0	1 684,0	2 095,0	582,2	766,0	766,0	4,5
Belgique Belgium	3 635,0	4 800,0	1 653,0	1 959,0	2 640,0	2 768,0	3 105,2	0,1
Bulgarie Bulgaria	1 240,0	1 304,0	676,7	686,8	1 361,0	1 244,5	1 019,7	0,7
Chypre Cyprus	231,0	230,0	146,7	146,7	56,0	104,0	63,6	1,1
Croatie Croatia	517,0	704,0	254,5	340,2	11,3	35,3	33,5	0,7
Danemark Denmark	11 123,0	11 628,0	4 810,0	4 849,0	517,5	557,0	600,0	1,5
Espagne Spain	53 903,0	51 138,0	22 959,0	22 986,5	8 297,0	8 211,0	4 761,8	25,5
Estonie Estonia	529,0	600,0	248,0	302,7	0,6	0,6	0,0	0,1
Finlande Finland	777,0	1 110,0	449,0	627,0	5,9	5,9	0,2	10,0
France*	16 034,0	17 000,0	8 243,0	9 285,0	4 660,6	5 500,0	5 589,2	10,8
Grèce Greece	4 139,0	4 500,0	1 809,0	1 979,8	3 648,0	3 856,0	2 595,8	7,0
Hongrie Hungary	717,0	690,0	329,0	329,0	25,0	26,8	37,5	0,7
Irlande Ireland	4 542,0	4 900,0	2 049,3	2 271,7	0,7	0,7	0,2	0,9
Italie Italy	14 897,0	15 080,0	8 557,4	8 662,4	21 588,6	23 299,0	18 437,0	13,0
Lettonie Latvia	120,0	120,0	67,0	67,0	0,0	0,0	1,5	0,0
Lituanie Lithuania	600,0	600,0	278,8	279,3	45,0	73,0	68,0	0,1
Luxembourg	81,0	80,0	58,3	58,3	74,0	120,0	110,0	0,0
Malte Malta	0,0	0,0	0,0	0,0	31,0	57,8	54,2	0,0
Pays-Bas Netherlands	5 603,0	5 806,0	2 713,0	2 852,0	516,0	800,0	1 095,0	5,0
Pologne Poland	6 077,0	7 200,0	3 389,5	3 834,0	4,0	19,2	21,5	2,9
Portugal	12 015,0	12 300,0	4 731,0	4 914,4	479,0	631,0	414,0	5,0
Rep. Tchèque Czech Republic	481,0	498,0	262,0	278,6	2 032,6	2 121,7	2 060,6	0,4
Rep. Slovaque Slovak Republic	6,0	6,0	5,0	5,0	588,0	590,0	590,0	0,1
Roumanie Romania	4 047,0	5 724,0	2 783,0	3 221,0	420,0	1 355,2	1 292,6	0,0
Royaume-Uni United Kingdom	28 434,0	31 450,0	11 209,0	12 474,5	2 035,6	3 931,0	5 228,0	2,3
Slovénie Slovenia	4,0	4,0	2,4	3,4	219,5	244,6	255,9	0,1
Suède Sweden	9 842,0	10 500,0	4 381,9	5 425,1	35,0	71,5	69,9	9,5
UE 28 EU 28	234 445,0	246 974,0	118 409,5	130 389,4	80 884,1	91 319,8	86 506,9	167,0

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

Source : EurObserver 2015

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

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

MW	Fin 2013 End of 2013*	Fin 2014* End of 2014*
Royaume-Uni United Kingdom	3 696	4 420
Danemark Denmark	1 271,1	1 271,1
Belgique Belgium	625,2	712
Allemagne Germany	903	2 340
Pays-Bas Netherlands	228	228
Suède Sweden	211,7	211,7
Finlande Finland	26	28
Irlande Ireland	25,2	25,2
Portugal Portugal	2	2
Espagne Spain	5	5
Total EU 27	6 993,2	9 243

* Estimation

Source: EurObserver 2015

Potentiels de biomasses en France

Origine	Biomasses	Total produit (kTep équivalent)	Supplémentaire disponible (kTep équivalent)
Agriculture	cultures dédiées	14,0	0,0
Agriculture	résidus cultures annuelles	29 687,0	4 438,0
Agriculture	déchets cultures pérennes	942,0	nd
Agriculture	issus de silo	169,0	nd
Agriculture	effluents d'élevage	7 467,0	3 320,0
Forêt	forêts (hors peupleraies)	17 930,0	8 008,0
Forêt	peupleraies	172,0	64,0
IAA	coproduits	2 206,5	29,2
IAA	boues et effluents	3 942,0	nd
	Total	62 529,5	15 859,2

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

Source : L'Observatoire national des ressources en biomasse - Evaluation des ressources disponibles en France - Edition 2012 – Les études de FranceAgriMer

Description de la forêt en France (Memento FCBA 2015)

Surface totale (M ha) : 54,8

Forêt (M ha) : 16

Usage du bois (millions m³/an)

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

64,5 Mm³ proviennent de forêt privée.

Récolte de bois commercialisée en 2013 : 35,8 Mm³ (sur écorce)

Dont 18,5 : bois d'œuvre

Dont 10,4 : bois d'industrie

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

La récolte de bois de feu en forêt est estimée à 21 Mm³ (hors vergers, haies et alignements).

Source : Mémento FCBA 2014

Production mondiale de biocarburants (2013) :

- Biodiesel : 28,3 milliards de litres (+ 12 % par rapport à 2012) dont 11,8 en Europe (+ 7 %) avec 2,6 en Allemagne (stable) et 1,8 en France (stable) et 5,8 aux Etats-Unis (+ 52 %).

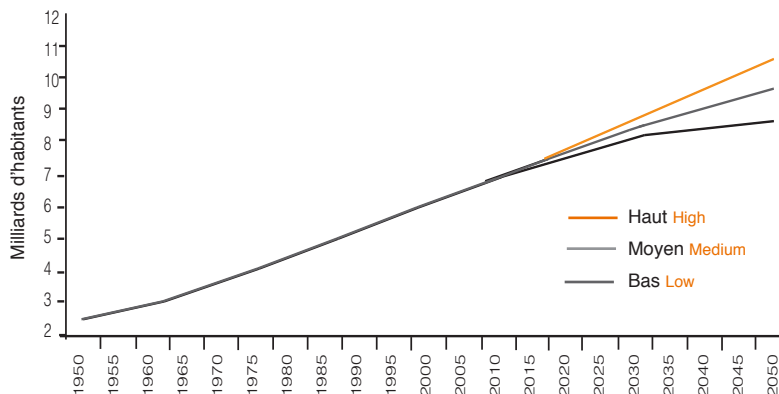
- Bioéthanol : 108 milliards de litres (+ 5 % par rapport à 2012) dont 52,6 et 28 Mds de litres pour, respectivement les Etats-Unis (+ 1 %) et le Brésil (+ 19 %), 7 milliards de litres en Europe (+ 6 %) dont 1 en France (+ 12 %).

Source : OCDE, Enerdata pour France et Allemagne

CONSOMMATION

Scénario d'évolution de la population mondiale

Scenario of evolution of world population



Source: United Nations Secretariat, World Population Prospects database: The 2015 revision (<http://esa.un.org/unpd/wpp/Excel-Data/population.htm>)

Monde : données générales pour 2013

World: General data for 2013

Année 2013 Year 2013	Population (millions hab) (Million inhab)	PIB (PPA milliards US\$2005) GDP (PPP billion US\$2005)	Consommation finale d'énergie ⁽¹⁾ (millions tep) Final consumption of energy ⁽¹⁾ (million toe)	Consommation d'électricité (TWh) Consumption of electricity (TWh)
Amérique OCDE ⁽²⁾ OECD America ⁽²⁾	488	17 662	1 839	4 990
dont Etats-Unis of which USA	316	14 452	1 495	4 110
Amérique non OCDE Non OECD America	472	5 546	465	1 011
dont Brésil of which Brazil	200	2 596	228	517
Europe OCDE ⁽³⁾ OECD Europe ⁽³⁾	560	15 775	1 219	3 352
Union européenne 28 European Union 28	509	14 649	1 139	3 067
dont France of which France	66	2 048	158	487
Non OCDE Europe et Eurasie ⁽⁴⁾ non OECD Europe and Eurasia ⁽⁴⁾	341	4 164	704	1 538
Moyen-Orient Middle East	218	4 299	452	841
Afrique Africa	1 111	4 459	555	649
Asie Asia	3 715	27 551	2 997	7 304
dont : of which:				
Chine China	1 367	14 257	1 823	5 149
Inde India	1 250	5 846	528	979
Asie Océanie OCDE ⁽⁵⁾ OECD Asia Oceania ⁽⁵⁾	213	6 879	588	1 849
Total Monde World Total	7 118	86 334	9 173	21 523
dont OCDE of which OECD	1 261	40 316	3 646	10 179

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

(2) Etats-Unis, Canada, 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, République Slovaque, République Tchèque, Royaume Uni, Slovénie, Suède, Suisse, Turquie - Germany, Austria, Belgium, Denmark, Spain, Estonia, Finland, France, Greece, Hungary, Ireland, Iceland, Italy, Luxembourg, Norway, Netherlands, Poland, Portugal, Slovak Republic, Czech Republic, United Kingdom, Slovenia, Sweden, Switzerland, Turkey

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

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

Source : Bilans Énergétiques, AIE, éd 2015 Energy Balances, IEA, 2015 ed.

Monde : données générales pour 2013 (suite)

World: General data for 2013

Année 2013 Year 2013	Consommation finale d'énergie par habitant (kep/hab) Final consumption of energy per capita (koe/capita)	Consommation finale d'énergie par unité de PIB ⁽¹⁾ (kep/millier US\$2005) Final consumption of energy per GDP unit ⁽¹⁾ (koe/thousand US\$2005)	Consommation finale d'électricité par habitant (kWh/hab) Final consumption of electricity per capita (kWh/capita)	Consommation finale d'électricité par unité de PIB ⁽²⁾ (kWh/millier US\$2005) Final consumption of electricity per GDP unit ⁽²⁾ (kWh/thousand US\$2005)
Amérique OCDE ⁽³⁾ OECD America ⁽³⁾	3 771	104	10 233	283
dont Etats-Unis of which USA	4 724	103	12 987	284
Amérique latine Latin America	986	84	2 142	182
dont Brésil of which Brazil	1 142	88	2 583	199
Europe OCDE OECD Europe	2 177	77	5 986	212
Union européenne 28 European Union 28	2 240	78	6 031	209
dont France of which France	2 398	77	7 390	238
Non OCDE Europe et Eurasie ⁽⁴⁾ non OECD Europe and Eurasia ⁽⁴⁾	2 065	169	4 511	369
Moyen-Orient Middle East	2 077	105	3 863	196
Afrique Africa	499	124	584	146
Asie Asia dont : of which:	807	109	1 966	265
Chine China	1 333	128	3 766	361
Inde India	423	90	783	167
Asie Océanie OCDE ⁽⁵⁾ OECD Asia Oceania ⁽⁵⁾	2 756	85	8 667	269
Total Monde World Total	1 289	106	3 024	249
dont OCDE of which OECD	2 891	90	8 072	252

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

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

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

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

Source : Bilans Energétiques, AIE, éd 2015 Energy Balances, IEA, 2015 ed

Monde : approvisionnement total en énergie primaire *

World: total primary energy supply *

Mtep Mtoe	1990	2000	2010	2011	2012	2013	%/an %/year 1990- 2013
Amérique OCDE ⁽¹⁾ <i>OECD America</i> ⁽¹⁾	2 260	2 695	2 674	2 663	2 618	2 672	0,7
dont Etats-Unis of which USA	1 915	2 273	2 215	2 191	2 140	2 188	0,6
Amérique non OCDE <i>Non OECD America</i>	331	424	581	589	607	619	2,5
dont Brésil of which Brazil	140	187	266	270	282	294	2,9
Europe OCDE ⁽²⁾ <i>OECD Europe</i> ⁽²⁾	1 620	1 746	1 816	1 758	1 748	1 737	0,4
Union européenne 28 <i>European Union 28</i>	1 645	1 692	1 721	1 660	1 646	1 626	0,0
dont France of which France	224	252	262	253	252	253	0,5
Non OCDE Europe et Eurasie ⁽³⁾ <i>non OECD Europe and Eurasia</i> ⁽³⁾	1 537	1 003	1 118	1 182	1 178	1 156	-1,1
Moyen-Orient <i>Middle East</i>	211	356	628	637	677	689	4,9
Afrique <i>Africa</i>	391	494	691	709	734	747	2,6
Asie <i>Asia</i>	1 577	2 213	4 006	4 354	4 429	4 691	4,5
dont : of which:							
Chine <i>China</i>	879	1 174	2 483	2 762	2 823	3 036	5,1
Inde <i>India</i>	307	441	693	752	752	775	4,0
Asie Océanie OCDE ⁽⁴⁾ <i>OECD Asia Oceania</i> ⁽⁴⁾	643	851	915	885	887	891	1,4
Soutes maritimes internationales <i>International marine bunkers</i>	116	155	207	207	191	190	2,5
Soutes aviation internationales <i>International aviation bunkers</i>	86	119	154	160	161	164	2,7
Total Monde World Total	8 768	10 057	12 789	13 129	13 228	13 555	1,8
dont OCDE of which OECD	4 522	5 292	5 405	5 301	5 251	5 300	0,7

(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, République Slovaque, République Tchèque, Royaume Uni, Slovaquie, Suède, Suisse, Turquie - Germany, Austria, Belgium, Denmark, Spain, Estonia, Finland, France, Greece, Hungary, Ireland, Iceland, Italy, Luxembourg, Norway, Netherlands, Poland, Portugal, Slovak Republic, Czech Republic, United Kingdom, Slovenia, Sweden, Switzerland, Turkey

(3) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie-Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirghizstan, Lettonie, Lituanie, Malte, République de Moldavie, Roumanie, République de Macédoine, Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkménistan, Ukraine, Ouzbékistan - Albania, Armenia, Azerbaijan, Belarus, Bosnia - Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, 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

* Approvisionnement Total en Energies Primaires : Production+Importations-Exportations-soutages maritimes internationaux ± variations des stocks

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

Source : Bilans Energétiques, AIE, éd 2015 *Energy Balances*, IEA, 2015 ed

Monde : scénario alternatif* pour l'approvisionnement en énergie primaire

World: alternative scenario* for primary energy supply

	1990		2011		2020		2030		2040	
	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%
Amérique OCDE ⁽¹⁾										
OECD America ⁽¹⁾	2 260	26	2 663	21	2 703	19	2 509	17	2 494	16
Amérique latine										
Latin America	331	4	586	5	686	5	771	5	824	5
Europe OCDE ⁽²⁾										
OECD Europe ⁽²⁾	1 630	19	1 778	14	1 714	12	1 590	11	1 530	10
UE 28 EU 28	1 642	19	1 659	13	1 571	11	1 451	10	1 395	9
Europe de l'Est /Eurasie ⁽³⁾										
Eastern Europ / Eurasia ⁽³⁾	1 539	18	1 159	9	1 170	8	1 178	8	1 210	8
Moyen-Orient										
Middle East	212	2	640	5	763	5	847	6	902	6
Afrique Africa	388	5	698	5	873	6	1 010	7	1 171	8
Asie non OCDE										
Non OECD Asia	1 578	18	4 324	33	5 370	38	5 815	40	6 279	41
dont : of which:										
Inde India	317	4	750	6	975	7	1 154	8	1 369	9
Chine China	879	10	2 743	22	3 388	24	3 485	24	3 524	23
Asie Océanie OCDE ⁽⁴⁾										
OECD Asia Oceania ⁽⁴⁾	631	7	863	7	867	6	821	6	784	5
Total	8 569	100	12 711	99	14 146	100	14 541	100	15 194	100
dont OCDE of which OECD	4 522	53	5 304	42	5 284		4 920		4 808	32
Monde World	8 768	100	13 069	100	14 522		14 935		15 629	100
dont : of which:										
Charbon Coal	2 230	25	3 773	29	3 920		2 955		2 590	17
Pétrole Oil	3 231	37	4 108	31	4 363		3 961		3 242	21
Gaz Gas	1 668	19	2 787	21	3 104		3 387		3 462	22
Nucléaire Nuclear	526	6	674	5	859		1 280		1 677	11
Hydraulique Hydro	184	2	300	2	392		511		597	4
Biomasse et déchets Biomass & Waste	893	10	1 300	10	1 565		2 022		2 535	16
Autres renouvelables Other renewables	36	0,4	127	1,0	319		819		1 526	10

* 450 ppm: scénario compatible avec une probabilité de 50 % d'atteindre la limite à long terme d'une augmentation de la température globale de 2 °C par rapport au niveau industriel.

* 450 ppm: pathway consistent with a 50% chance of meeting the goal of limiting the long-term increase in average global temperature to 2 °C compared with pre-industrial level.

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. Slovaque, Rép. Tchèque, Suisse et Turquie - European Union 15, Hungary, Island, Norway, Poland, Slovak Rep., Czech Rep., Switzerland and Turkey

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

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

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

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

Source : World Energy Outlook 2014, AIE - World Energy Outlook 2014, IEA

Monde : consommation finale d'énergie en 2013

World: final consumption of energy for 2013

(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 ⁽¹⁾ OECD America ⁽¹⁾	31	912	394	2	101	7	393	1 839
dont Etats-Unis of which USA	21	731	333	2	76	6	325	1 495
Amérique non OCDE Non OECD America	11	221	63	1	86	-	83	465
dont Brésil of which Brazil	8	108	13	1	57	-	42	228
Europe OCDE ⁽²⁾ OECD Europe ⁽²⁾	49	496	278	5	82	47	262	1 219
Union européenne 28 European Union 28	38	463	266	nd	nd	nd	238	1 139
dont France of which France	3	68	33	0	13	2	38	158
Europe non OCDE et Eurasie ⁽³⁾ Non OECD Europe and Eurasia ⁽³⁾	40	194	209	0	15	139	108	704
Moyen-Orient Middle East	2	220	161	0	1	-	68	452
Afrique Africa	22	148	32	0	302	-	51	555
Asie Asia	760	852	190	24	531	77	563	2 997
dont : of which:								
Chine China	605	437	94	23	197	76	390	1 823
Inde India	103	150	27	0	171	-	77	528
Asie Océanie OCDE ⁽⁴⁾ OECD Asia Oceania ⁽⁴⁾	39	307	74	2	12	5	149	588
Total Monde World total	954	3 704	1 400	34	1130	274	1677	9 173
dont OCDE of which OECD	119	1 714	745	9	195	58	804	3 646

(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, République Slovaque, République Tchèque, Royaume Uni, Slovaquie, Suède, Suisse, Turquie - Germany, Austria, Belgium, Denmark, Spain, Estonia, Finland, France, Greece, Hungary, Ireland, Iceland, Italy, Luxembourg, Norway, Netherlands, Poland, Portugal, Slovak Republic, Czech Republic, United Kingdom, Slovenia, Sweden, Switzerland, Turkey

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

(4) 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, AIE éd 2015 Energy Balances, IEA, 2015 ed

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

World: reference* scenario for final consumption of energy

	1990		2010		2020		2030		2040	
	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%	Mtep Mtoe	%
Amérique OCDE ⁽¹⁾ <i>OECD America ⁽¹⁾</i>	1 548	25	1 833	22	1 932	19	2 003	17	2 080	16
Amérique latine <i>Latin America</i>	250	4	434	5	555	6	685	6	799	6
Dont Brésil <i>Of which Brazil</i>	111	2	211	3	276	3	354	3	418	3
Europe OCDE ⁽²⁾ <i>OECD Europe ⁽²⁾</i>	1 130	19	1 288	15	1 277	13	1 320	11	1 341	10
UE 28 EU 28	1 130	19	1 194	14	1 167	12	1 192	10	1 200	9
Europe de l'Est /Eurasie ⁽³⁾ <i>Eastern Europ / Eurasia ⁽³⁾</i>	1 073	18	715	9	782	8	894	8	986	8
Moyen-Orient <i>Middle East</i>	150	2	402	5	560	6	736	6	914	7
Afrique Africa	292	5	513	6	658	7	802	7	969	8
Asie non OCDE <i>Non OECD Asia</i>	1 216	20	2 569	31	3 622	36	4 540	39	5 251	41
dont : of which:										
Inde India	250	4	462	6	680	7	952	8	1 242	10
Chine China	669	11	1 506	18	2 185	22	2 650	23	2 857	22
Asie Océanie OCDE ⁽⁴⁾ <i>OECD Asia Oceania ⁽⁴⁾</i>	429	7	570	7	574	6	577	5	573	4
Total	6 088	100	8 324	100	9 960	100	11 557	100	12 913	100
dont OCDE / of which OECD	3 107	51	3 691	44	3 783	38	3 900	34	3 994	31
Monde World	6 291	100	8 679	100	10 351	100	12 012	100	13 443	100
dont : of which:										
Charbon Coal	768	12	853	10	1 042	10	1 095	9	1 102	8
Pétrole Oil	2 607	41	3 557	41	4 094	40	4 648	39	5 037	37
Gaz Gas	947	15	1 329	15	1 592	15	1 925	16	2 268	17
Electricité Electricity	834	13	1 537	18	2 061	20	2 635	22	3 203	24
Chaleur Heat	335	5	278	3	311	3	333	3	344	3
Biomasse et déchets <i>Biomass & Waste</i>	796	13	1 103	13	1 205	12	1 306	11	1 394	10
Autres renouvelables <i>Other renewables</i>	4	0,1	22	0,3	46	0,4	70	0,6	95	0,7

* 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. Slovaque, Rép. Tchèque, Suisse et Turquie - European Union 15, Hungary, Island, Norway, Poland, Slovak Rep., Czech Rep., 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 2014, AIE World Energy Outlook 2014, IEA

Europe : données générales pour 2013

Europe: general data for 2013

Année 2013 Year 2013	Population (millions habitants) (million inhabitants)	PIB (PPA milliards US\$2005) GDP (PPP billion US\$2005)	Approvision- nement en énergie primaire (millions tep) Primary energy supply (million toe)	Consommation finale d'énergie (millions tep) Final consumption of energy (million toe)	Consommation d'électricité (TWh) Electricity consumption (TWh)
Allemagne Germany	82,1	2 933	318	225	577
Autriche Austria	8,5	317	33	28	72
Belgique Belgium	11,1	376	56	42	89
Bulgarie Bulgaria	7,3	92	17	9	34
Espagne Spain	46,6	1 233	117	81	252
Croatie Croatia	4,3	68	8	6	13
Danemark Denmark	5,6	185	17	14	34
Espagne Spain	46,6	1 233	117	81	252
Estonie Estonia	1,3	25	6	3	9
Finlande Finland	5,4	175	33	25	84
France	65,9	2 048	253	158	487
Grèce Greece	11,0	225	23	15	55
Hongrie Hungary	9,9	176	23	17	39
Irlande Ireland	4,6	173	13	10	26
Italie Italy	60,7	1 628	155	121	311
Lettonie Latvia	2,0	33	4	4	7,0
Lituanie Lithuania	3,0	58	7	6	11
Luxembourg	0,6	36	4	4	8
Malte Malta	0,4	10	1	0,4	2
Pays-Bas Netherlands	16,8	647	77	62	115
Pologne Poland	38,5	719	98	67	150
Portugal	10,5	222	22	16	49
Rép. Tchèque Czech Republic	10,5	258	42	25	66
Rép. Slovaque Slovak Republic	5,4	118	17	11	28
Roumanie Romania	20,0	248	32	23	50
Royaume-Uni United Kingdom	64,1	2 228	191	129	347
Slovénie Slovenia	2,1	50	7	5	14
Suède Sweden	9,6	348	49	32	133
Union européenne (28) European Union (28)	509	14 649	1 626	1 139	3 067

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

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

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

Source : Bilans Energétiques, AIE, éd 2015 Energy Balances, IEA, 2015 ed

Europe : données générales pour 2013

Europe: general data for 2013

Année 2013 Year 2013	Consommation finale d'énergie par unité de PIB ⁽¹⁾ (kep/millier US\$2005) Final energy consumption per GDP unit ⁽¹⁾ (koe/thousand US\$2005)	Consommation d'électricité par habitant (kWh/hab) Electricity consumption per head (kWh/head)	Consommation d'électricité par unité de PIB ⁽²⁾ (kWh/millier US\$2005) Electricity consumption per GDP unit ⁽²⁾ (kWh/thousand US\$2005)
Allemagne Germany	77	7 028	197
Autriche Austria	88	8 514	228
Belgique Belgium	111	8 020	237
Bulgarie	99	4 616	367
Chypre Cyprus	71	4 556	212
Croatie Croatia	92	3 093	195
Danemark Denmark	74	6 043	183
Espagne Spain	66	5 405	204
Estonie Estonia	118	6 667	346
Finlande Finland	141	15 515	483
France	77	7 390	238
Grèce Greece	68	4 995	245
Hongrie Hungary	94	3 893	219
Irlande Ireland	60	5 696	151
Italie Italy	74	5 124	191
Lettonie Latvia	115	3 495	209
Lituanie Lithuania	97	3 612	186
Luxembourg	104	14 000	211
Malte Malta	41	5 013	200
Pays-Bas Netherlands	95	6 821	177
Pologne Poland	93	3 891	208
Portugal	73	4 685	221
Rép. Tchèque Czech Republic	98	6 289	256
Rép. Slovaque Slovak Republic	92	5 213	239
Roumanie	92	2 493	201
Royaume-Uni United Kingdom	58	5 409	156
Slovénie Slovenia	97	6 845	279
Suède Sweden	93	13 875	383
Union européenne (28) European Union (28)	78	6 031	209

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

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

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

Source : Bilans Energétiques, AIE, éd 2015 Energy Balances, IEA, 2015 ed

Europe : consommation de biocarburants destinés au transport dans l'UE en 2014*
 Europe: biofuel consumption for transport in the European Union in 2014*

Ktep Ktoe	Bioethanol Bioethanol	Biodiesel Biodiesel	Biogaz carburant Biogas fuel	Autres** Others**	Consommation totale Total consumption
Allemagne Germany	792,6	1 908,0	43,0	5,3	2 748,9
Autriche Austria	60,2	480,1	0,0	0,0	540,3
Belgique Belgium	36,7	350,8	0,0	0,0	387,5
Bulgarie Bulgaria	0,0	53,4	0,0	0,0	53,4
Chypre Cyprus	0,0	13,3	0,0	0,0	13,3
Croatie Croatia	0,0	29,8	0,0	0,0	29,8
Danemark Denmark	0,0	262,5	0,0	0,0	262,5
Espagne Spain	180,9	798,5	0,0	0,0	979,4
Estonie Estonia	3,2	0,0	0,0	0,0	3,2
Finlande Finland	70,0	132,9	1,5	0,0	204,4
France	414,0	2 541,0	0,0	0,0	2 955,0
Grèce Greece	0,0	133,4	0,0	0,0	133,4
Hongrie Hungary	38,9	95,7	0,0	17,0	151,6
Irlande Ireland	27,1	88,9	0,0	0,0	116,0
Italie Italy	7,7	1 055,2	0,0	0,0	1 062,9
Lettonie Latvia	6,4	12,4	0,0	0,0	18,8
Lituanie Lithuania	6,8	57,6	0,0	0,0	64,4
Luxembourg	3,1	65,4	0,0	0,1	68,6
Malte Malta	0,0	4,0	0,0	0,0	4,0
Pays-Bas Netherlands	128,3	220,9	0,0	0,0	349,2
Pologne Poland	142,6	595,9	0,0	0,0	738,5
Portugal	5,1	290,8	0,0	0,0	295,9
Rép. Tchèque Czech Republic	78,6	265,5	0,0	0,0	344,1
Rép. Slovaque Slovak Republic	55,9	79,6	0,0	0,0	135,4
Roumanie Romania	36,9	159,4	0,0	10,1	206,3
Royaume-Uni United Kingdom	407,3	752,7	0,0	0,0	1 160,0
Slovénie Slovenia	6,0	23,1	0,0	0,0	29,1
Suède Sweden	165,4	687,2	88,7	0,0	941,3
Union européenne (28) European Union (28)	2 673,7	11 157,9	133,2	32,4	13 615,4

* Estimation

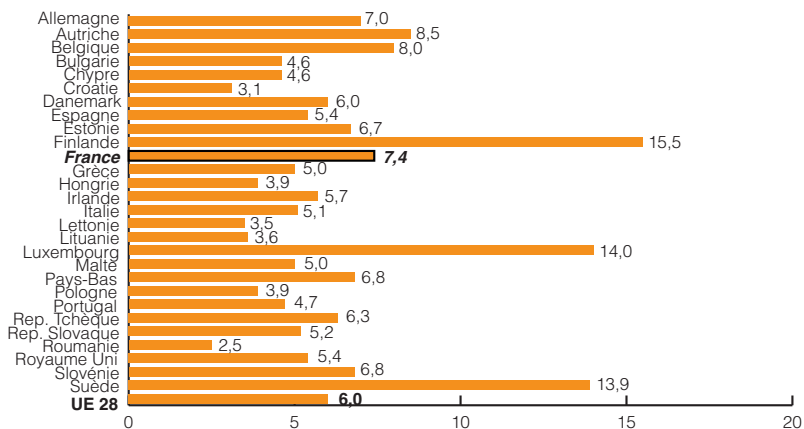
** Huiles végétales utilisées pures et biocarburants non spécifiés

** Pure vegetable oils used and not specified biofuels

Source : EurObserver 2015

Consommation d'électricité par habitant (MWh/hab)

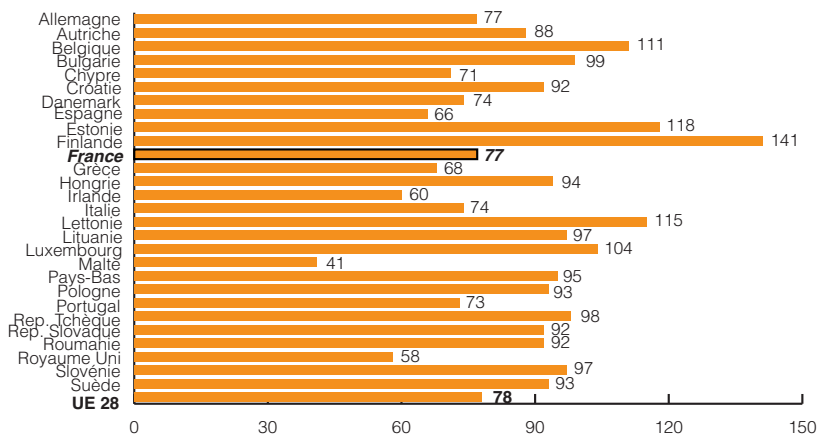
Electricity consumption per head (MWh/capita)



Source : Bilans Energétiques, AIE, éd 2015 Energy Balances, IEA, 2015 ed

Consommation finale d'énergie par unité de PIB ⁽¹⁾ (kep/millier US\$2005)

Final energy consumption per GDP unit ⁽¹⁾ (koe/thousand US\$2005)



Source : Bilans Energétiques, AIE, éd 2015 Energy Balances, IEA, 2015 ed

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

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

Mtep Mtoe	1973	1980	1990	2000	2010	2014	%an 1973-2014 %/Year	Parts (%) Share (%)	
								1973	2014
Charbon Coal	28	31	19	14	12	9	-2,7	15,5	3,4
Pétrole Oil	122	107	88	95	81	77	-1,1	67,6	30,2
Gaz Gas	13	21	26	38	40	36	2,4	7,3	14,0
Electricité primaire ⁽¹⁾ Primary electricity ⁽¹⁾	8	22	83	109	115	117	6,7	4,3	45,4
Energies renouvelables thermiques et déchets Thermal renewable energies and waste	9	8	11	13	16	18	1,6	5,2	7,0
Total	180	190	228	269	264	257	0,9	100	100

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

Source : Bilan énergétique de l'année 2014 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 fuel

Mtep Mtoe	1973	1980	1990	2000	2010	2014	%an 1973-2014 %/Year	Parts (%) Share (%)	
								1973	2014
Charbon Coal	18	13	10	7	6	6	-2,7	13,2	3,6
Pétrole Oil	85	78	71	74	66	61	-0,8	63,9	40,4
Gaz Gas	9	17	23	33	32	31	3,1	6,5	20,7
Electricité Electricity	13	18	26	34	38	37	2,5	9,7	24,4
Energies renouvelables Renewable energy	9	8	11	11	14	15	1,3	6,7	10,0
Total énergétique	134	134	141	159	155	151	0,3	100	100

Source : Bilan énergétique de l'année 2014 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	2014	%/an 1973 2014	Parts (%) Share (%) 1973 2014	
						%/Year			
Industrie Industry	48	45	38	39	34	29	-0,8	33	18
dont sidérurgie of which iron and steel industry	13	11	7	6	5	5	-2,1	9	3
Résidentiel- tertiaire Residential-tertiary	56	54	58	67	68	68	0,5	39	41
Agriculture	4	3	4	3	4	5	0,4	2	3
Transports	26	32	41	49	49	49	1,5	18	30
Total énergétique Energy total	134	134	141	158	155	150	0,4	92	91
Total non énergétique Not energy total	11	12	12	17	12	14	0,2	8	9
Total	145	146	153	175	167	164	0,3	100	100

Source : Bilan énergétique de l'année 2014 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
Total énergétique	100	100	100
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
Total énergétique	100	100	100

Source : Anece

Source : Ademe

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

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

France : bilans électriques

France: electricity balances

TWh	Consommation		Echanges avec l'étranger (3) Balance (3)	Production intérieure Inland Production						
	Intérieure (1) Inland (1)	Nette (2) Net (2)		Thermique classique Conventional Thermal	Hydraulique Hydro	Nucléaire Nuclear	Eolien Wind	Photovoltaïque Photo-voltaic	Autres renouv. Other renewables	Total
1950	33	29	0	17	16	-	-	-	-	33
1955	50	44	0	24	26	-	-	-	-	50
1960	72	65	0	32	41	0	-	-	-	72
1965	102	94	1	54	46	1	-	-	-	101
1970	140	130	-1	79	57	5	-	-	-	141
1975	181	168	3	101	60	17	-	-	-	179
1980	249	232	3	119	70	58	-	-	-	247
1985	303	280	-23	52	64	213	-	-	-	329
1990	350	323	-46	45	57	298	-	-	-	400
1995	397	369	-70	37	76	359	-	-	-	471
2000	441	411	-69	50	72	395	-	-	-	517
2005	482	450	-60	59	56	430	-	-	4	549
2007	480	448	-56	55	63	419	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

(1) La consommation intérieure est égale à la somme de la production nationale et des échanges d'électricité, déduction faite de l'énergie de pompage **Inland consumption equals domestic generation plus imports minus exports & energy used for pumping**

(2) La consommation nette est égale à la consommation intérieure moins les pertes de transport et de distribution **Net consumption equals inland consumption minus transportation and distribution losses**

(3) Echanges : Importations (+), Exportations (-) **Balance: Imports (+), Exports (-)**

Source : RTE (Bilan électrique 2014)

France : bilan de l'énergie en 2014

France: energy balance for 2014

Mtep Mtoe	Charbon Coal		Pétrole Oil		Gaz Gas		Electricité Electricity		ENR th et déchets RF and waste	Total
2014	Houille Lignite ⁽¹⁾ Hard coal, lignite ⁽¹⁾	Coke, agglomérés Coke, briquettes	Brut Crude	Raffiné Refined	Naturel Natural	Industriels Industrial	Production brute ⁽²⁾ Gross production	Consommation Consumption	⁽³⁾	⁽⁴⁾
Approvisionnement Supply										
Total disponibilités Total availability	8,72		55,26	20,75	32,44		115,78		16,62	249,57
Production énergie primaire Primary energy production	0,12		0,77	0,4	0,01		H: 7,81 N: 113,75		16,27	139,14
Importations Imports	8,18	0,6	54,18	41,51	39,94		0,68		0,56	145,65
Exportations Exports	-0,15	-0,04	-0,02	-18,97	-6,32		-6,46		-0,21	-32,17
Stocks ⁽⁵⁾	0,09	-0,09	0,33	-0,38	-1,2					-1,25
Soutes maritimes internationales International marine bunkers				-1,8						-1,8
Emplois Employment										
Consommation branche énergie (A) Energy branch consumption (A)	5,34	-2,2	55,26	-51,28	2,93	0,42	-3,07	82,85	2,32	92,57
Raffinage Refining			54,77	-52,85	0,67		-0,06	0,24		2,76
Production d'électricité thermique Thermal electricity production	2,15			0,45	1,78	0,63	-3,01		2,09	4,09
Usages internes Internal uses	2,79	-2,24			0,44	-0,22		3,15	0,23	4,15
Pertes et ajustements Losses and adjustments	0,4	0,04	0,49	1,13	0,04	0,01		79,46	0,00	81,57
Consommation finale énergétique (corrigée du climat) (B) Final energy consumption (corrected for climate) (B)	2,94	2,6		60,74	31,69	-0,42		36,78	15,68	150,02
Sidérurgie Steel industry	1,77	2,32		0,02	0,55	-0,42		0,9		5,14
Industries Industries	0,9	0,24		2,22	9,36			9,08	1,86	23,66

(1) Ainsi que Produits de récupération also recovered products

(2) Dont : - hydraulique et éolien: 8,37 Mtep including: - hydro and wind 8.37 Mtoe
- nucléaire 110,41 Mtep - nuclear 110.41 Mtoe

(3) ENR thermiques : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique...) Renewable fuels: renewable thermal energies (wood, wood waste, thermal solar)

(4) Du fait d'arrondis, certains écarts peuvent être constatés sur certains totaux Rounding of values may result in differences in some totals

(5) + : destockage ; - : stockage + : withdrawal ; - : stocking

Source : Bilan énergétique de la France pour 2014, Observatoire de l'énergie

France : bilan de l'énergie en 2014 (suite)

France: energy balance for 2014

Mtep Mtoe	Charbon Coal		Pétrole Oil		Gaz Gas		Electricité Electricity		ENR th et déchets RF and waste	Total
2014	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⁾	⁽⁴⁾
Résidentiel Residential	0,16	0,03		6,95	15,78			13,01	9,83	45,77
Tertiaire Tertiary	0,11			3,34	5,6			11,99	0,89	21,92
Agriculture				3,46	0,32			0,75	0,15	4,67
Transports ⁽⁶⁾				44,74	0,09			1,05	2,96	48,84
Consommation finale non-énergétique (C) (corrigée du climat) Final non-energy consumption (C) (corrected for climate)		0,08		12,63	1,28					13,99
Consommation finale non-énergétique (corrigée du climat) (C) Non energetic final consumption (corrected for climate) (C)		0,08		12,63	1,28					13,99
Consommation totale d'énergie primaire (corrigée du climat) (A+B+C) Total primary energy consumption (corrected for climate) (A+B+C)	8,76			77,35	35,89		116,56	18,01		256,58

(1) Ainsi que Produits de récupération : also recovered products

(2) Dont : - hydraulique et éolien: 8,37 Mtep including: - hydro and wind 8.37 Mtoe
- nucléaire 110,41 Mtep - nuclear 110.41 Mtoe

(3) ENR thermiques : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique...)

Renewable fuels: renewable thermal energies (wood, wood waste, thermal solar)

(4) Du fait d'arrondis, certains écarts peuvent être constatés sur certains totaux

Rounding of values may result in differences in some totals

(5) + : destockage ; - : stockage + : withdrawal ; - : stocking

(6) Hors soutes maritimes internationales Excepting international marine bunkers

Source : Bilan énergétique de la France pour 2014, Observatoire de l'énergie

PRODUCTION

Monde : capacités électriques installées en 2012

World: 2012 electricity installed capacities

(GW) 2012	Thermique conventionnel Conventional thermal	Hydraulique Hydroelectric	Nucléaire Nuclear	Renouvelables et déchets (hors hydraulique) Renewable and waste (excepting hydro)	Total
OCDE Americas ⁽¹⁾ North America ⁽¹⁾	937	194	124	101	1 356
dont Etats-Unis of which United States	840	101	108	88	1 137
Amérique Latine Latin America	124	187	5	33	349
dont Brésil of which Brazil	31	110	3	26	170
Europe OCDE ⁽²⁾ OECD Europe ⁽²⁾	487	202	129	216	1 034
dont UE 28 of which EU 28	466	149	129	216	960
Europe de l'Est / Eurasie ⁽³⁾ Eastern Europ / Eurasia ⁽³⁾	289	93	43	7	432
Moyen-Orient Middle East	240	14	1	1	256
Afrique Africa	136	25	2	2	165
Asie non OCDE Non OECD Asia	1 234	343	25	126	1 728
dont Chine of which China	845	249	14	90	1 198
dont Inde of which India	169	42	5	25	241
OCDE Asie Océanie ⁽⁴⁾ OECD Asia Oceania ⁽⁴⁾	291	69	68	26	454
Total Monde World Total	3 709	1 085	394	495	5 683

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

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

(3) Albanie, Arménie, Azerbaïdjan, Belarus, Bosnie - Herzégovine, Bulgarie, Chypre, Croatie, Georgie, Gibraltar, Kazakhstan, Kirgizstan, Lettonie, Lituanie, Malte, Ré. de Moldavie, Roumanie, Rép. de Macédoine, Russie, Serbie, Tadjikistan, Turkmenistan, 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, Corée du Sud, Japon et Nouvelle Zélande - Australia, South Korea, Japan & New Zealand

Source : WEO 2014

Production d'électricité d'origine nucléaire par pays fin 2014

Electricity generation from nuclear power plants by country at the end of 2014

Pays Countries	Production électrique totale (TWh nets) Net total generation	Production électrique nucléaire (TWh nets) Net nuclear generation	Part du nucléaire ⁽¹⁾ dans la production % Nuclear share ⁽¹⁾
Afrique du Sud South Africa	238,7	14,8	6,2
Allemagne Germany	581,0	91,8	15,8
Argentine Argentina	129,3	5,3	4,1
Arménie Armenia	7,5	2,3	30,7
Belgique Belgium	67,6	32,1	47,5
Brésil Brazil	500,0	14,5	2,9
Bulgarie Bulgaria	44,6	15,0	33,6
Canada	586,9	98,6	16,8
Chine China	5 158,3	123,8	2,4
Corée du Sud South Korea	490,8	149,2	30,4
Espagne Spain	269,1	54,9	20,4
Etats-Unis USA	4 095,4	798,6	19,5
Finlande Finland	65,1	22,6	34,7
France	543,6	418,0	76,9
Hongrie Hungary	27,6	14,8	53,6
Inde India	948,6	33,2	3,5
Iran	246,7	3,7	1,5
Japon Japan	0,0	0,0	0,0
Mexique Mexico	166,1	9,3	5,6
Pakistan	107,0	4,6	4,3
Pays-Bas Netherlands	97,5	3,9	4,0
Rép.tchèque Czech Republic	79,9	28,6	35,8
Roumanie Romania	58,4	10,8	18,5
Royaume-Uni United Kingdom	336,6	57,9	17,2
Russie Russia	909,1	169,1	18,6
Slovaquie Slovakia	25,4	14,4	56,8
Slovénie Slovenia	16,4	6,1	37,3
Suède Sweden	150,1	62,3	41,5
Suisse Switzerland	69,9	26,5	37,9
Taiwan (Chine / China)	215,9	40,8	18,9
Ukraine Ukraine	168,2	83,1	49,4
Total pays nucléaires	16 401,2	2 410,6	14,7
Pays non nucléaires	6 905,8	-	-
Total	23 307 ⁽²⁾		10,3

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

(2) Source: IEA World Statistics for 2013

Source : AIEA (base de données PRIS 2014), IAEA (PRIS Database 2014)

Monde : production d'électricité par source en 2013

World: electricity generation by fuel for 2013

%	Charbon Coal	Pétrole Oil	Gaz naturel Natural gas	Nucléaire Nuclear	Hydraulique Hydro	Autres Others	Total
Amérique OCDE ⁽¹⁾ <i>OECD America ⁽¹⁾</i>	34,7	1,8	26,4	17,6	13,4	6,1	100
dont Etats-Unis of which USA	40,0	0,9	27,0	19,2	6,3	6,7	100
Amérique non OCDE <i>Non OECD America</i>	3	13,2	18,7	1,8	57,7	5,5	100
dont Brésil of which Brazil	3,8	4,7	12,1	2,6	68,6	8,2	100
Europe OCDE ⁽²⁾ <i>OECD Europe ⁽²⁾</i>	26,1	1,6	16,8	24,6	16,3	14,6	100
Union européenne 28 <i>European Union 28</i>	28,0	1,9	15,7	27,1	11,5	15,8	100
dont France of which France	4,4	0,4	3,0	74,7	12,4	5,1	100
Non OCDE Europe et Eurasie ⁽³⁾ <i>Non OECD Europe and Eurasia ⁽³⁾</i>	23,7	1,0	39,9	16,3	18,2	0,9	100
Moyen-Orient <i>Middle East</i>	0,0	33,1	63,6	0,6	2,7	0	100
Afrique <i>Africa</i>	35,3	10,0	35,9	1,9	15,9	1,0	100
Asie ⁽⁴⁾ <i>Asia ⁽⁴⁾</i>	51,6	5,2	22,5	3,3	13,4	4,0	100
dont Inde of which India	72,8	1,9	5,5	2,9	11,9	5,0	100
Chine <i>China</i>	75,4	0,1	2,0	2,0	16,6	3,9	100
Asie Océanie OCDE ⁽⁵⁾ <i>OECD Asia Oceania ⁽⁵⁾</i>	39,2	9,2	32,9	7,7	6,4	4,7	100
Total Monde <i>World Total</i>	41	4,4	21,8	10,6	16,3	5,7	100
dont OCDE which OECD	32,7	3,1	24,4	18,2	13,1	8,6	100

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

(2) Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays Bas, Pologne, Portugal, République Slovaque, République Tchèque, Royaume Uni, Slovénie, Suède, Suisse, Turquie - *Germany, Austria, Belgium, Denmark, Spain, Estonia, Finland, France, Greece, Hungary, Ireland, Iceland, Italy, Luxembourg, Norway, Netherlands, Poland, Portugal, Slovak Republic, Czech 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) Hors Chine - *Without China*

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

Source : Bilans énergétiques, AIE, éd 2015 - *Energy Balances, IEA, 2015 ed*

Monde : production d'électricité

World: electricity generation

TWh	1990	2000	2010	2013	%/an 1990-2013 %/year
Amérique OCDE ⁽¹⁾ OECD America ⁽¹⁾	3 819	4 876	5 285	5 309	1
dont Etats-Unis of which USA	3 203	4 026	4 354	4 287	1
Amérique non OCDE Non OECD America	489	759	1 069	1 183	4
dont Brésil of which Brazil	223	349	516	570	4
Europe OCDE ⁽²⁾ OECD Europe ⁽²⁾	2 662	3 223	3 611	3 559	1
Union européenne 28 European Union 28	2 576	3 005	3 333	3 230	1
dont France of which France	417	535	564	567	1
Europe non OCDE et Eurasie ⁽³⁾ Non OECD Europe and Eurasia ⁽³⁾	1 894	1 432	1 699	1 740	0
Moyen-Orient Middle East	224	430	834	952	6
Afrique Africa	316	442	671	732	4
Asie Asia	1 274	2 637	6 331	7 904	8
dont : of which:					
Chine China	650	1 388	4 236	5 461	10
Inde India	293	570	979	1 193	6
Asie Océanie OCDE ⁽⁴⁾ OECD Asia Oceania ⁽⁴⁾	1 148	1 629	1 961	1 929	2
Total Monde World total	11 825	15 426	21 460	23 307	3
dont OCDE of which OECD	7 629	9 728	10 857	10 796	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, République Slovaque, République Tchèque, Royaume Uni, Slovénie, Suède, Suisse, Turquie - Germany, Austria, Belgium, Denmark, Spain, Estonia, Finland, France, Greece, Hungary, Ireland, Iceland, Italy, Luxembourg, Norway, Netherlands, Poland, Portugal, Slovak Republic, Czech Republic, United Kingdom, Slovenia, Sweden, Switzerland, Turkey

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

(4) Australie, Israël, Japon, Corée et Nouvelle Zélande - Australia, Israël, Japan, Korea & New Zealand
Source : Bilans énergétiques, AIE, éd. 2015 - Energy Balances, IEA, 2015 ed

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

World: reference scenario* for electricity generation

	1990		2012		2020		2030		2040	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%	TWh	%	TWh	%
Amérique OCDE ⁽¹⁾ OECD America ⁽¹⁾	3 819	32	5 268	23	5 790	21	6 203	18	6 697	17
Amérique latine Latin America	489	4	1 152	5	1 444	5	1 850	5	2 263	6
Europe OCDE ⁽²⁾ OECD Europe ⁽²⁾	2 682	23	3 661	16	3 861	14	4 094	12	4 350	11
UE 28 EU 28	2 576	22	3 260	14	3 400	12	3 563	11	3 742	9
Europe de l'Est/Eurasie ⁽³⁾ East Europe/Eurasia ⁽³⁾	1 894	16	1 742	8	1 904	7	2 194	6	2 502	6
Moyen-Orient Middle East	224	2	905	4	1 187	4	1 554	5	1 882	5
Afrique Africa	316	3	741	3	1 023	4	1 504	4	2 217	6
Asie non OCDE Non OECD Asia	1 274	11	7 402	33	10 533	38	14 323	42	17 954	45
dont Inde of which India	293	2	1 166	5	1 673	6	2 640	8	3 787	9
dont Chine of which China	650	5	5 024	22	7 204	26	9 310	27	10 734	27
OCDE Asie Océanie ⁽⁴⁾ OECD Asia Oceania ⁽⁴⁾	1 127	10	1 850	8	2 029	7	2 159	6	2 239	6
Monde World	11 825	100	22 721	100	27 771	100	33 881	100	40 104	100
dont OCDE of which OECD	7 628	65	10 779	47	11 681	42	12 456	37	13 286	33
dont of which										
Charbon Coal	4 425	37	9 204	41	10 377	37	11 191	33	12 339	31
Pétrole Oil	1 310	11	1 144	5	832	3	582	2	494	1
Gaz Gas	1 760	15	5 104	22	6 056	22	7 875	23	9 499	24
Nucléaire Nuclear	2 013	17	2 461	11	3 243	12	4 016	12	4 644	12
Hydraulique Hydro	2 144	18	3 672	16	4 553	16	5 449	16	6 222	16
Biomasse et déchets Biomass & Waste	132	1	442	2	764	3	1 161	3	1 569	4
Eolien Wind	4	0,0	521	2	1 333	5	2 362	7	3 345	8
Geothermique Geothermal	36	0,3	70	0,3	120	0,4	237	1	378	1
Solaire PV Solar PV	0	0,0	97	0,4	449	2	851	3	1 291	3
Solaire thermodynamique CSP	1	0,0	5	0,0	41	0,1	140	0,4	357	1
Marine Marine	1	0,0	1	0,0	3	0,0	17	0,1	66	0

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

(2) Allemagne, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Norvège, Pays Bas, Pologne, Portugal, République Slovaque, République Tchèque, Royaume Uni, Slovaquie, Suède, Suisse, Turquie - Germany, Austria, Belgium, Denmark, Spain, Estonia, Finland, France, Greece, Hungary, Ireland, Iceland, Italy, Luxembourg, Norway, Netherlands, Poland, Portugal, Slovak Republic, Czech 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, Azerbaijan, Belarus, Bosnia - Herzegovina, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Georgia, Gibraltar, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Latvia, Lithuania, FYR of Macedonia, Malta, Republic of Moldova, Romania, Russia, Serbia, Tajikistan, Turkmenistan, Ukraine, Uzbekistan

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

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

* Only taking into account policies already formally adopted and implemented

Source : World Energy Outlook 2014, IEA

Europe : évolution de la production électrique

Europe: evolution of electricity generation

TWh	1973	1980	1990	2000	2010	2013	%/an %/year 1973- 2013	%/an %/year 2000- 2013
Allemagne <i>Germany</i>	374	466	548	572	627	627	1,3	0,7
Autriche <i>Austria</i>	31	42	49	60	68	65	1,9	0,6
Belgique <i>Belgium</i>	41	53	70	83	94	82	1,8	-0,1
Bulgarie <i>Bulgaria</i>	22	35	42	41	46	43	1,7	0,4
Chypre <i>Cyprus</i>	0,8	1	2	3	5	4	4,1	1,3
Croatie <i>Croatia</i>			9	11	14	13		1,3
Danemark <i>Denmark</i>	19	27	26	36	39	35	1,5	-0,2
Espagne <i>Spain</i>	76	109	151	221	298	279	3,3	1,8
Estonie <i>Estonia</i>			17	9	13	13		3,3
Finlande <i>Finland</i>	26	41	54	70	81	71	2,5	0,1
France	183	257	417	535	564	567	2,9	0,4
Grèce <i>Greece</i>	15	23	35	53	57	57	3,4	0,6
Hongrie <i>Hungary</i>	18	24	28	35	37	30	1,3	-1,2
Irlande <i>Ireland</i>	7	11	14	24	28	26	3,2	0,7
Italie <i>Italy</i>	144	183	213	270	299	288	1,7	0,5
Lettonie <i>Latvia</i>			7	4	7	6		2,9
Lituanie <i>Lithuania</i>			28	11	5	4		-7,6
Luxembourg	1	1	1	0,4	3	2	0,9	12,7
Malte <i>Malta</i>	0,3	1	1	2	2	2	4,9	0,3
Pays-Bas <i>Netherlands</i>	53	65	72	90	118	101	1,6	0,9
Pologne <i>Poland</i>	84	121	134	143	157	164	1,7	1,1
Portugal	10	15	28	43	54	51	4,2	1,3
Rép. slovaque <i>Slovak Republic</i>	12	20	25	31	27	29	2,2	-0,5
Rép. tchèque <i>Czech Republic</i>	41	53	62	73	85	86	1,9	1,3
Roumanie <i>Romania</i>	47	67	64	52	61	59	0,6	1,0
Royaume-Uni <i>United Kingdom</i>	281	284	318	374	379	356	0,6	-0,4
Slovénie <i>Slovenia</i>			12	14	16	17		1,7
Suède <i>Sweden</i>	78	96	146	145	148	153	1,7	0,4
UE 28 EU 28	1 563	1 994	2 576	3 005	3 333	3 230	1,8	0,6

Source : Bilans énergétiques, AIE, éd 2015 - *Energy Balances, IEA, 2015 ed*

Europe : part de l'énergie produite à partir de sources renouvelables dans la consommation brute d'énergie finale en 2013 et objectifs 2020

Europe: share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy in 2013 and national overall targets in 2020

	2013 *	2020
Allemagne Germany	12,2 %	18 %
Autriche Austria	32,6 %	34 %
Belgique Belgium	7,5 %	13 %
Bulgarie Bulgaria	20,8 %	16 %
Chypre Cyprus	7,4 %	13 %
Croatie Croatia	15,1 % ***	20 %
Danemark Denmark	27,7 %	30 %
Espagne Spain	15,5 %	20 %
Estonie Estonia	26,8 %	25 %
Finlande Finland	37,1 %	38 %
France **	14,4 %	23 %
Grèce Greece	15,0 %	18 %
Hongrie Hungary	10,1 %	13 %
Irlande Ireland	7,3 %	16 %
Italie Italy	16,8 %	17 %
Lettonie Latvia	36,5 %	40 %
Lituanie Lithuania	23,1 %	23 %
Luxembourg	3,6 %	11 %
Malte Malta	2,5 %	10 %
Pays-Bas Netherlands	4,5 %	14 %
Pologne Poland	11,4 %	15 %
Portugal	25,7 %	31 %
Rep. Tchèque Czech Republic	12,5 %	13 %
Rep. Slovaque Slovak Republic	10,5 %	14 %
Roumanie Romania	26,1 %	24 %
Royaume-Uni United Kingdom	5,2 %	15 %
Slovénie Slovenia	22,6 %	25 %
Suède Sweden	51,7 %	49 %
Union européenne 28 European Union 28	15,0 %	20 %

* Estimation

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

*** Valeur 2012

Source : *EurObserver 2014*

France : production primaire d'énergies renouvelables*

France: renewable primary energy production*

ktep ktoe	2014
Bois énergie Wood for energy	39
Hydraulique renouvelable Renewable Hydroelectricity	24
Biocarburants Bio-motorfuels	12
Eolien Wind	7
Pompes à chaleur Heat pump	7
Déchets renouvelables Renewable waste	5
Solaire PV Solar PV	2
Biogaz Biogas	2
Géothermie Geothermal energy	1
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
Total en Mtep ⁽¹⁾ Total in Mktoe ⁽¹⁾	22,4

* Métropole Mother country

Source : Bilan énergétique de la France pour 2014 SOeS

France : bilan électrique

France: electricity balance

	2009		2010		2011		2012		2013		2014	
	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%	TWh net	%
Production nette Net Production	519	100	550	100	543	100	541	100	551	100	541	100
Thermique nucléaire Nuclear	390,0	75,1	407,9	74,1	421,1	77,6	404,9	74,8	403,7	73,3	415,9	76,9
Thermique classique Conventional thermal	54,8	10,6	59,4	10,8	51,5	9,5	47,9	8,8	44,7	8,1	27,0	5,0
Hydraulique Hydro	61,8	11,9	68	12,4	50,3	9,3	63,8	11,8	75,7	13,7	68,2	12,6
Autres sources d'énergie Other energy	12,2	2,4	15	2,7	5,6	1,0	5,9	1,1	26,8	4,9	29,5	5,5
dont solaire of which solar					2,4	0,4	4	0,7	4,6	0,8	5,9	1,1
dont éolien of which wind	7,8	1,5	9,6	1,7	12,1	2,2	14,9	2,8	15,9	2,9	17,0	3,1
Consommation intérieure Gross Inland Consumption	486		513		478		490		495			
Pertes Losses	33,6	6,9	37	7,2	35	7,3	36	7,4	38,0	6,9	34,3	6,3
Consommation nette Net consumption	452,8	93,1	476,1	92,8	443,3	92,7	453,1	92,5	457,0	83,0	430,4	79,6
Pompage Pumping storage	7		7		7		7		7	1,3	8	1,5
Solde Import-Export Import-Export balance	26		31		57		45		48	8,7	67	12,4

Source : Energie Electrique en France, RTE, éd 2015

France : échanges contractuels transfrontaliers d'électricité en 2014

France: cross-border contractual electricity exchanges in 2014

TWh	Exportations	Importations	Solde exportateur
Allemagne Germany	7,3	15,2	-5,9
Belgique Belgium	17,4	0,8	16,6
Espagne Spain	6,5	2,9	3,6
Grande Bretagne United Kingdom	15,9	0,8	15,1
Italie Italy	19,8	0,5	19,3
Suisse Switzerland	25,5	9,1	16,4
Total France	92,4	27,3	65,1

Source : Bilan électrique français 2014, RTE Ed 2015

Puissances maximales appelées par le réseau en France (GWe)

Peak load demand of the french grid (GWe)

1950	jeudi 21 décembre	Thursday December 21	6,6 GWe
1955	mercredi 21 décembre	Wednesday December 21	8,9 GWe
1960	jeudi 15 décembre	Thursday December 15	12,9 GWe
1965	jeudi 9 décembre	Thursday December 9	17,5 GWe
1970	vendredi 18 décembre	Friday December 18	23,3 GWe
1975	mardi 16 décembre	Tuesday December 16	32 GWe
1980	mardi 9 décembre	Tuesday December 9	44,1 GWe
1985	mercredi 16 janvier	Wednesday January 16	60 GWe
1990	lundi 17 décembre	Monday December 17	63,4 GWe
1995	lundi 5 janvier	Monday January 5	66,8 GWe
2000	mercredi 12 janvier	Wednesday January 12	72,4 GWe
2005	lundi 28 février	Monday February 28	86 GWe
2010	jeudi 11 février	Thursday February 11	93,1 GWe
2011	mardi 4 janvier	Tuesday January 4	91,8 GWe
2012	mercredi 8 février	Wednesday February 8	102,1 GWe
2013	jeudi 17 janvier	Thursday January 17	92,6 GWe
2014	mardi 9 décembre	Tuesday December 9	82,5 GWe

Source : Bilan électrique 2014, RTE ed. 2015

**ENERGIE ELECTRIQUE
ET ELECTRONUCLEAIRE**

ELECTRICITY AND NUCLEAR POWER

Principales caractéristiques des filières électronucléaires

Main characteristics of reactor types

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

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'UO₂.

France : caractéristiques des REP ⁽¹⁾ 900, 1300 et 1450 MWe

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

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
Première charge Initial Loading					
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) ⁽⁶⁾ Natural uranium requirements (t) ⁽⁶⁾	316		423		449
Besoin en enrichissement (milliers d'UTS) Enrichment requirements (10 ³ SWU)	225		294		312
Recharge à l'équilibre Equilibrium reload	(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) ⁽⁷⁾ Natural uranium requirements (t) ⁽⁷⁾	153	107 (+0) ⁽⁸⁾	235	310	280
Besoin en enrichissement (milliers d'UTS) ⁽⁷⁾ Enrichment requirements (10 ³ SWU) ⁽⁷⁾	87	61 (+0) ⁽⁸⁾	124	182	154
Irradiation moyenne (MWj/t) Burn-up (MWd/t)	41 200	(33 800)	32 100	43 500	39 000
Séjour en réacteur (mois) Fuel residence time (months)	48	48 (38)	38	54	36

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

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

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

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

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

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

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

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

Source : CEA

Parc électronucléaire français au 01/01/2015

58 unités installées représentant 63 GWe

Nuclear power plants in France - Status as of 2015/01/01

Regroupement par filière Reactor type	Nom des unités Name of the unit	Puissance - MWe nets Net capacity MWe operation	Année de MSI Year of commercial
58 unités REP 58 PWR units 62,9 GWe nets 62,9 net GWe 34 REP-900 34 PWR-900 30 660 MWe 20 REP-1300 20 PWR-1300 26 370 MWe	<i>Fessenheim-1</i>	880	1978
	<i>Fessenheim-2</i>	880	1978
	<i>Bugey-2</i>	910	1979
	<i>Bugey-3</i>	880	1979
	<i>Bugey-4</i>	880	1979
	<i>Bugey-5</i>	900	1980
	<i>Dampierre-1</i>	890	1980
	<i>Gravelines-1</i>	915	1980
	<i>Tricastin-1</i>	880	1980
	<i>Tricastin-2</i>	880	1980
	<i>Gravelines-2</i>	915	1980
	<i>Dampierre-2</i>	890	1981
	<i>Dampierre-3</i>	890	1981
	<i>Gravelines-3</i>	915	1981
	<i>Gravelines-4</i>	915	1981
	<i>Tricastin-3</i>	880	1981
	<i>Tricastin-4</i>	880	1981
	<i>Dampierre-4</i>	890	1981
	<i>Blayais-1</i>	910	1981
	<i>Saint-Laurent-B-1</i>	890	1983
	<i>Saint-Laurent-B-2</i>	890	1983
	<i>Blayais-2</i>	910	1983
	<i>Blayais-3</i>	910	1983
	<i>Blayais-4</i>	910	1983
	<i>Chinon-B-1</i>	920	1984
	<i>Cruas-Meyssse-1</i>	915	1984
	<i>Chinon-B-2</i>	920	1984
	<i>Cruas-Meyssse-3</i>	915	1984
	<i>Gravelines-5</i>	915	1985
	Paluel-1	1 330	1985
	<i>Cruas-Meyssse-2</i>	915	1985
	Paluel-2	1 330	1985
	<i>Cruas-Meyssse-4</i>	915	1985
	<i>Gravelines-6</i>	915	1985
	Paluel-3	1 330	1986
	Saint-Alban-1	1 335	1986
	Paluel-4	1 330	1986
	Flamanville-1	1 330	1986
	Saint-Alban-2	1 335	1987
	<i>Chinon-B-3</i>	920	1987
	Flamanville-2	1 330	1987

Source : AIEA

Regroupement par filière Reactor type	Nom des unités Name of the unit	Puissance - MWe nets Capacity net MWe operation	Année de MSI Year of commercial
	Cattenom-1	1 300	1987
	Cattenom-2	1 300	1988
	Nogent-1	1 310	1988
	Chinon-B-4	920	1988
	Belleville-1	1 310	1988
	Belleville-2	1 310	1989
	Nogent-2	1 310	1989
	Penly-1	1 330	1990
	Golfech-1	1 310	1991
	Cattenom-3	1 300	1991
	Cattenom-4	1 300	1992
	Penly-2	1 330	1992
	Golfech-2	1 310	1994
Palier N4 N4 series 4 REP-1450 4 PWR-1450 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 ⁽¹⁾

France: Uranium and fuel cycle services requirements ⁽¹⁾

	2012	2015 ⁽¹⁾	2020 ⁽¹⁾
Puissance électronucléaire nette installée (GWe) Installed nuclear capacity	63,1	63,2	61 - 63,2
Production nette d'électricité nucléaire (TWh) Nuclear electricity generation	421	430-435	430-435
Besoins en uranium naturel (tU/an) Natural Uranium requirements	8 000	8 000-9 000	8 000-9 000
Besoins en services d'enrichissement (10 ³ UTS/an) Enrichment requirements	6 000	6 500	6 500
Besoins en fabrication Manufacturing requirements			
• de combustible REP U ₂₃₅ (t ML/an) • U ₂₃₅ PWR fuel manufacturing requirements (t HM/year)	1 050	1 050	1 050
• de combustible MOX pour REP (t ML/an) • MOX fuel for PWR (t HM/year)	120	120	120
Quantités de combustible irradié produites (t ML/an) PWR spent fuel arisings (t HM/year)	1 150	1 150	1 150

(1) Estimations **Estimates**

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

UTS : Unités de Travail de Séparation

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

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.

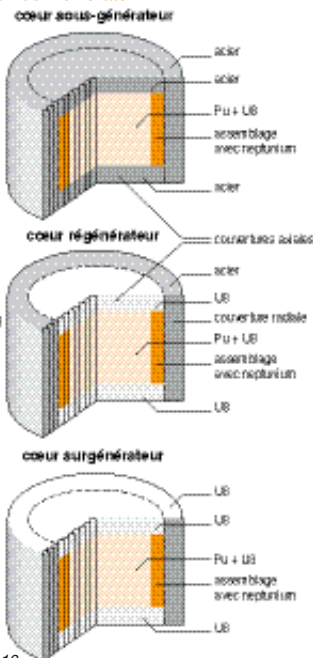
Ils utilisent comme combustible du plutonium et consomment de l'ordre de 800 kg par an pour une puissance électrique de 1 200 MWe. Un RNR peut fonctionner en mode surgénérateur, avec des couvertures radiale et axiale à base d'uranium 238 : il produit alors plus de plutonium (Pu) qu'il n'en consomme. 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

Pour 10 TWh produits,
1 000 kg de Pu brûlés
800 kg de Pu produits



Pour 10 TWh produits,
1 000 kg de Pu brûlés
1 000 kg de Pu produits

Pour 10 TWh produits,
1 000 kg de Pu brûlés
1 200 kg de Pu produits

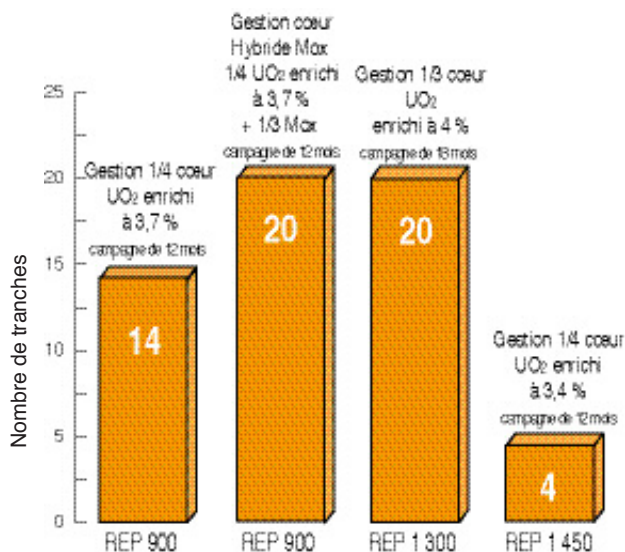
UB = uranium 238
Pu = plutonium

Source : « Les colonnes de Creys » n° 10

CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLEAIRE

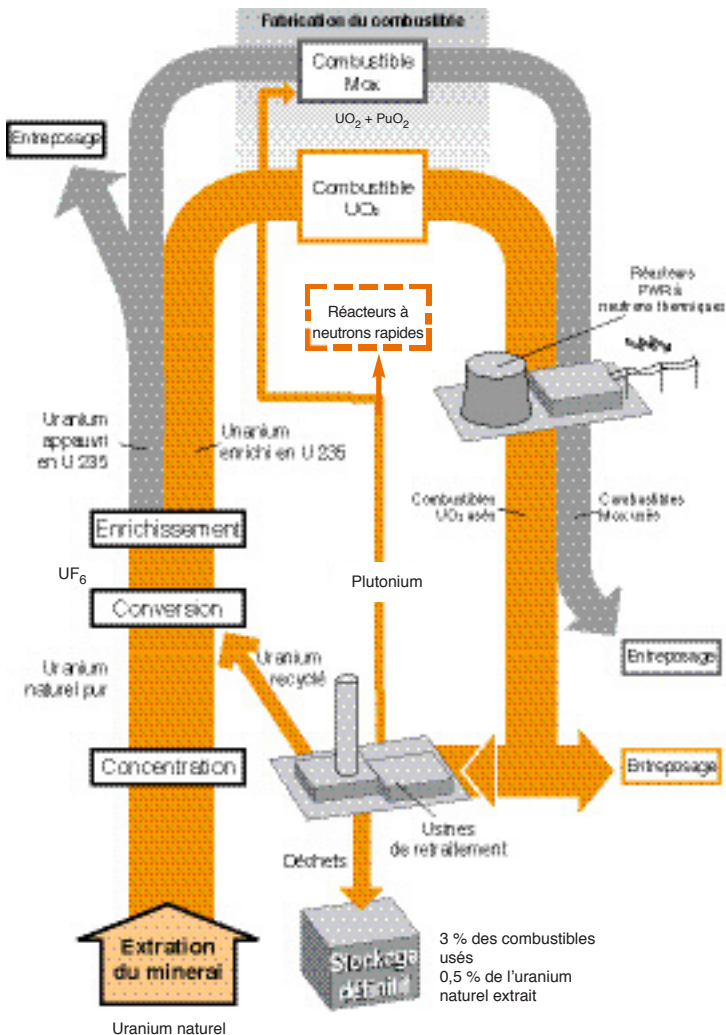
L'uranium naturel extrait du minerai est constitué de 99,3 % d'uranium 238, inerte, et de 0,7 % d'uranium 235, seul susceptible de produire de l'énergie par fission. L'enrichissement permet d'obtenir un combustible UO_2 (oxyde d'uranium) dont la teneur en isotope 235 est portée à environ 3,5 %. Pendant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

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



Source : D'après DSIN

Cycle simplifié du combustible nucléaire en France



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

Monde : besoins en uranium

World: Uranium requirements

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

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

Définition de l'UTS

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

Monde : capacité nominale d'enrichissement de l'uranium (kUTS/an)

World: Uranium enrichment capacity

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

Source : WNA 2015

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

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

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

Source : CEA

Les procédés d'enrichissement isotopique de l'uranium

Afin de prendre la relève de la diffusion gazeuse, la France et les Etats-Unis ont travaillé sur de nouveaux procédés d'enrichissement comme la séparation isotopique par laser.

Grâce à de récents développements technologiques, l'ultracentrifugation gazeuse retrouve un intérêt économique.

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

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

Type de combustible	Capacités 2010	Besoins		
		2012	2015	2020
BWR	1 100 ⁽⁴⁾	221 ⁽¹⁾	306 ⁽¹⁾	239 ⁽¹⁾
FBR MOX	4,5	0	0 ⁽¹⁾	5 ⁽¹⁾
GCR (Magnox et AGR)	240	189	190	170
HWR	2 050	2 080	2 270	1 950
LWR	650 ⁽⁵⁾	2 618 ⁽²⁾	2 636 ⁽²⁾	2 592 ⁽²⁾
PWR	3 674 ⁽⁴⁾	2 028 ⁽³⁾	2 279 ⁽³⁾	2 342 ⁽³⁾
LWR MOX	195	120 ⁽¹⁾	120 ⁽¹⁾	120 ⁽¹⁾
Total	7 944 ⁽⁴⁾	7 256 ⁽¹⁾	7 801 ⁽¹⁾	7 418 ⁽¹⁾

(1) Hors Japon - **Except Japan**

(2) BWR et PWR USA et Allemagne - **BWR and PWR USA and Germany**

(3) Hors USA et Allemagne - **Except USA and Germany**

(4) Hors USA - **Except USA**

(5) Allemagne uniquement - **Only Germany**

Source : Données sur l'énergie nucléaire, AEN éd. 2014

Usines de traitement des combustibles usés

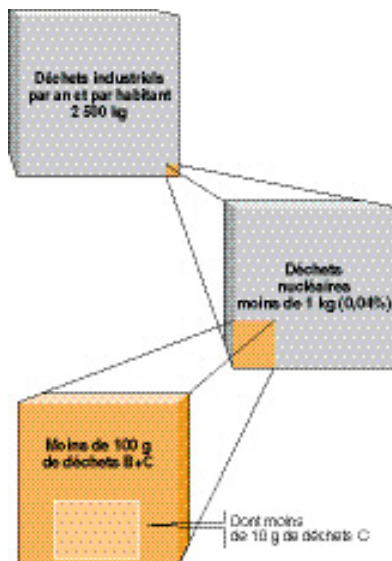
Used fuel reprocessing units

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

* Début d'exploitation prévue en 2016.

Source : WNA 2015

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 ($1 \text{ Bq} = 1$ 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.

Très faible activité (TFA)		Déchets TFA stockés en surface au Centre de stockage TFA de l'Aube	
Faible activité (FA)	Déchets VTC gérés sur place par décroissance radioactive. Ils sont ensuite gérés comme des déchets classiques.	Déchets FMA-VC 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.	Déchets FA-VL Centre de stockage à faible profondeur (entre 15 et 200 m) à l'étude. Mise en service prévue en 2019.
Moyenne activité (MA)			Déchets MA-VL Centre de stockage profond (à 500 m) à l'étude. Mise en service prévue en 2025.
Haute activité (HA)		Déchets HA Centre de stockage profond (à 500 m) à l'étude. Mise en service prévue en 2025.	
	Durée de vie 		
	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 utilisé. 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 m³/an de déchets TFA&FMA-VC et 500 m³/an de déchets MA&HA-VL (dans l'inventaire actuel, les déchets FA-VL et une partie des déchets MA-VL résultent d'anciennes activités).

La gestion des déchets radioactifs

L'utilisation des propriétés des radioéléments, que ce soit pour la production d'énergie, la recherche nucléaire, l'industrie ou la santé, génère des déchets. Les exploitants améliorent continuellement leurs installations afin de réduire en volume et en activité ces déchets. En France, plusieurs milliers de personnes travaillent à leur gestion (tri, traitement, conditionnement, transport, entreposage ou stockage) selon des procédures et des méthodes codifiées et sous le contrôle des autorités publiques.

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

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

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

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

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

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

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

Principaux éléments contenus dans les combustibles usés

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

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

Actinides

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

TOTAL 10,852 kg

Uranium

TOTAL 935,548 kg

Produits de fission

Fission products

Kr, Xe	6,0	Ru, Rh, Pd	0,86
Cs, Rb	3,1	Ag, Cd,	
Sr, Ba	2,5	In, Sn, Sb	0,25
Y, La	1,7		
Zr	3,7	Autres	
Se, Te	0,56	Ce	2,5
Mo	3,5	Pr	1,2
I	0,23	Nd	4,2
Tc	0,23	Sm	0,82
		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 (m³/an)
	Émetteurs β , γ	Émetteurs α		
Solution de produits de fission	270.10 ⁶	3,5.10 ⁶ (1)	Verre	3
Déchets de structures (coques et embouts) et déchets technologiques de zone 4 (2)	12,5.10 ⁶	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)
Effluents gazeux	
Krypton 85	45.10 ⁵
Iode 131	1,7.10 ⁻²
Iode 129	0,25
Tritium	1 125
Effluents liquides	
Émetteurs β , γ	580
Tritium	175 000
Émetteurs α	0,7

Source : AREVA

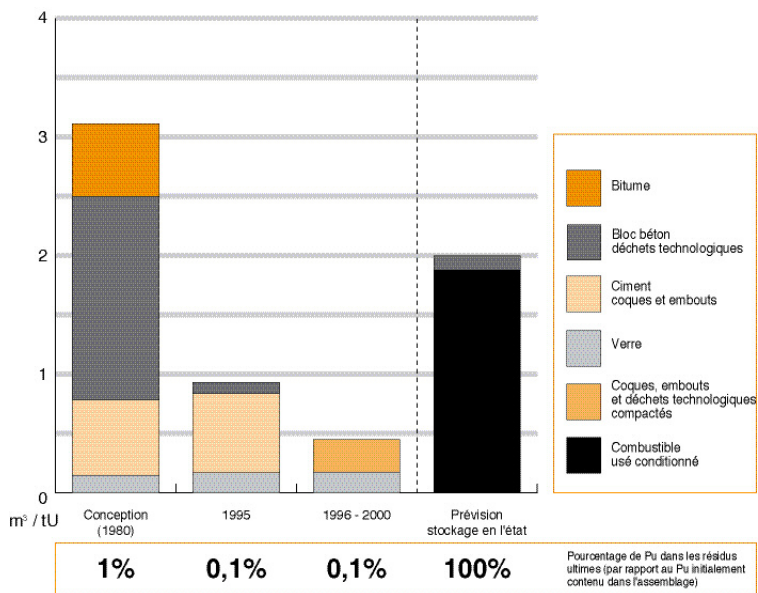
Effluents et déchets produits en 1996 par les centrales nucléaires françaises

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

Effluents gazeux (GBq/TWh)	Gaz rares	867
	Aérosols + halogènes	0,009
Effluents liquides (GBq/TWh)	Hors tritium	0,22
	Tritium	1,778
Déchets solides (m³/TWh)		20

Source : CEA d'après CEPN

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



* UP3 : Usine de production, située à La Hague

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 α : noyaux d'hélium (2 protons, 2 neutrons).

Particules β : 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 (α , β) et/ou un rayonnement γ 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 γ .

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 γ : 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 γ au niveau du noyau de l'atome.

Grandeurs et unités propres aux rayonnements ionisants

Physical units for ionizing radiation

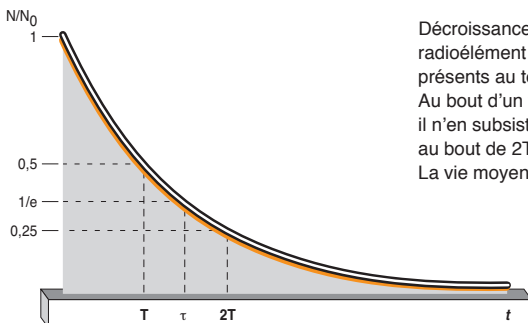
Grandeurs	Unités	Équivalences	Définitions
ACTIVITÉ	Becquerel (Bq)	1 Bq = 27 picocuries	Grandeur représentant le nombre de désintégrations par seconde au sein d'une matière radioactive
	Curie (Ci)	1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq	
DOSE ABSORBÉE	Gray (Gy)	1 Gy = 1 joule/kg = 100 rad	Quantité d'énergie communiquée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

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

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

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

Radioactive decay, mean life, half life



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

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 décru 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 (α)

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 (β)

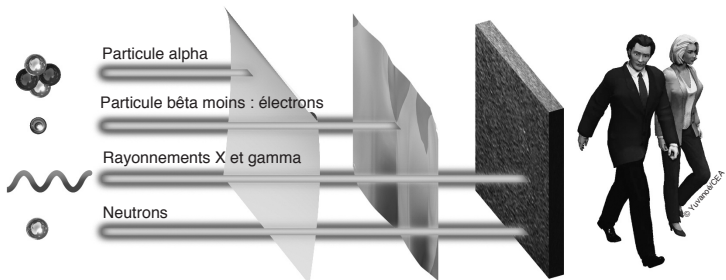
Pénétration faible. Ils parcourent quelques mètres dans l'air. Une feuille d'aluminium de quelques millimètres peut arrêter les électrons.

Rayonnements X et gamma (γ)

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

Neutrons

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



Expositions aux rayonnements ionisants en France (hors activités professionnelles)

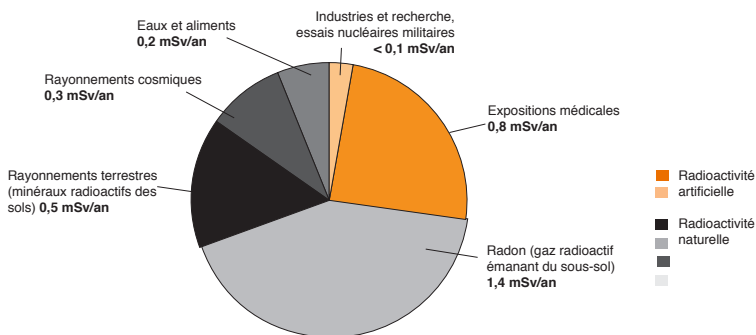
Ionizing radiation exposure in France (other than occupational)

Radioactivité	Origine	Provenance	Type de rayonnement prédominant	Dose ⁽¹⁾ exprimée en mSv/an
naturelle	Cosmique	Soleil, étoiles, galaxies	γ , neutrons, particules lourdes	0,3 (niveau de la mer)
	Tellurique (uranium 238, potassium 40, thorium 232)	sol	γ	0,5
	Interne potassium 40, plomb, bismuth, polonium, radons et descendants	ingestion aliments, eau inhalation, air	α , β , γ	1,6
artificielle	Médecine	radiodiagnostic, radiothérapie imagerie nucléaire	X, β , γ	0,8
	Industrie	effluents et irradiation directe		< 0,1
	Essais nucléaires			0,01
	Domestique, divers	récepteurs TV, cadrans lumineux		0,001

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

Exposition aux rayonnements ionisants de la population en France

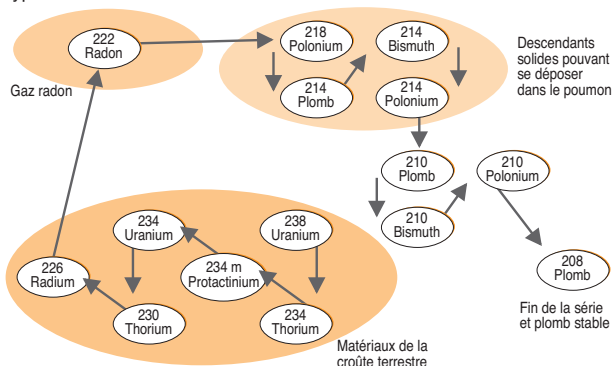
Doses annuelles (mSv/an) - Total : 3,3 mSv/an par personne en moyenne



Source : Estimation 2005 - IRSN

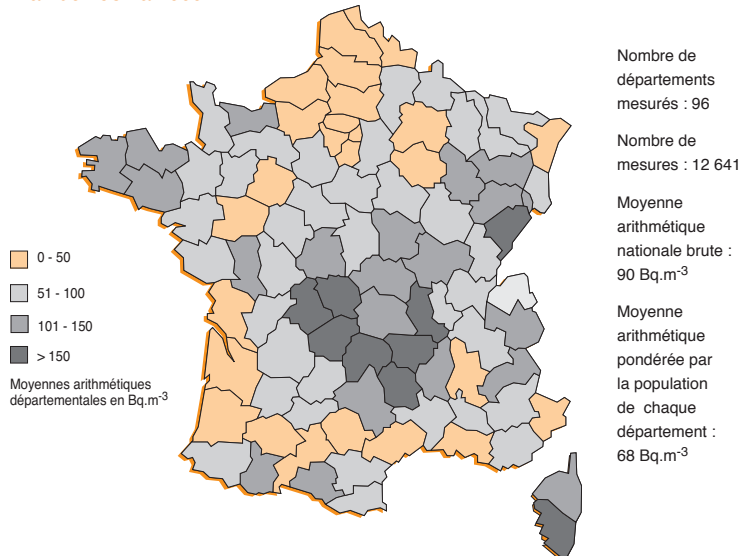
Le radon

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



Source : CEA/IRSN

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



Source : IRSN, Bilan du 1^{er} 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
Rayonnement cosmique		
Composante directement ionisante et photonique	0,28	
Composante neutronique	0,10	
Radionucléides cosmogéniques	0,01	
Exposition cosmique et cosmogénique totale	0,39	0,3 - 1,0 ^(a)
Irradiation externe tellurique		
En plein air	0,07	
Dans les bâtiments	0,41	
Exposition externe tellurique totale	0,48	0,3 - 0,6 ^(b)
Inhalation		
Séries uranium et thorium	0,006	
Radon (222 Rn)	1,15	
Thoron (220 Rn)	0,10	
Exposition totale par inhalation	1,26	0,2 - 10 ^(c)
Ingestion		
Potassium 40 (⁴⁰ K)	0,17	
Séries uranium et thorium	0,12	
Exposition totale par ingestion	0,29	0,2 - 0,8 ^(d)
Total	2,4	1 - 10

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

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

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

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

Source : UNSCEAR

L'activité radioactive - exemples

Examples of natural or human generated activity

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

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

Exemples de radioactivité naturelle :

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

Exemples de radioactivité artificielle en médecine :

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

Exemple de radioactivité artificielle dans l'industrie nucléaire :

Nature	Activité
Combustible utilisé en sortie de réacteur (1/4 de cœur déchargé)	10^{19} Bq = 10 milliards de milliards de Bq

Source : Andra

RADIOPROTECTION ET SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Institutions internationales

• **L'AIEA** (Agence internationale pour l'énergie atomique), fondée en 1957, au sein de l'organisation des Nations unies, s'assure que les dispositions de sécurité, tant au niveau de la conception que de l'exploitation des installations, sont satisfaisantes.

L'AIEA anime, à la demande des autorités nationales, des missions d'évaluation de la sûreté des installations nucléaires, appelées OSART ;

• **L'AEN**, l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE, favorise entre les États les échanges d'informations à la fois techniques, scientifiques et juridiques sur la production et l'utilisation de l'énergie nucléaire ;

• **L'Euratom** ou CEEA (Communauté européenne de l'énergie atomique), instituée en 1957, offre un cadre privilégié de coopération, notamment dans le domaine de la R&D des industries nucléaires. C'est en vertu du traité Euratom que la Commission de Bruxelles élabore des normes de base en matière de radioprotection.

Loi sur la transparence et la sécurité en matière nucléaire

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

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

L'Autorité de sûreté

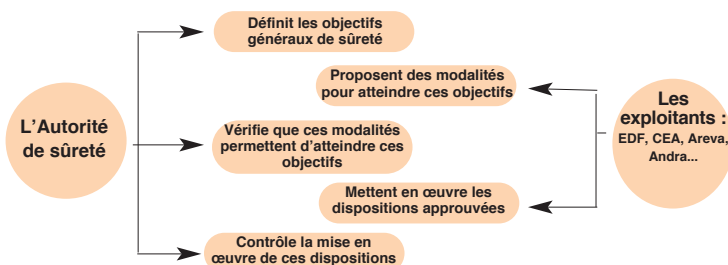
L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) est une autorité administrative indépendante chargée de contrôler l'ensemble des activités nucléaires exercées en France dans le domaine civil.

Elle assure, au nom de l'État, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France pour protéger les travailleurs, les patients, le public et l'environnement des risques liés à l'utilisation du nucléaire.

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

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

Principes du contrôle de la sûreté nucléaire en France



Source : ASN

Classement des incidents : l'échelle INES

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

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

Source : asn.gouv.fr

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
7 Accident majeur	Rejet majeur : effets étendus sur la santé et l'environnement		
6 Accident grave	Rejet important susceptible d'exiger l'application intégrale des contre-mesures prévues		
5 Accident	Rejet limité susceptible d'exiger l'application partielle des contre-mesures prévues	Endommagement grave du cœur de réacteur / des barrières radiologiques	
4 Accident	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	
3 Incident grave	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
2 Incident		Contamination importante / surexposition d'un travailleur	Incidents assortis de défaillances importantes des dispositions de sécurité
1 Anomalie			Anomalie sortant du régime de fonctionnement autorisé
0 Ecart	Aucune importance du point de vue de la sûreté		
Événements hors échelle	Aucune pertinence du point de vue de la sûreté		

Source : ASN

ENVIRONNEMENT

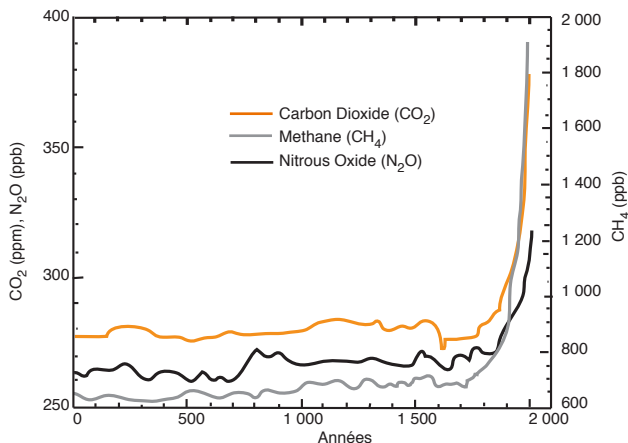
Qu'est-ce que l'effet de serre ?

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 CO₂ (dioxyde de carbone). Le CH₄ et le N₂O ont des PRG relatifs nettement plus importants que le CO₂ (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

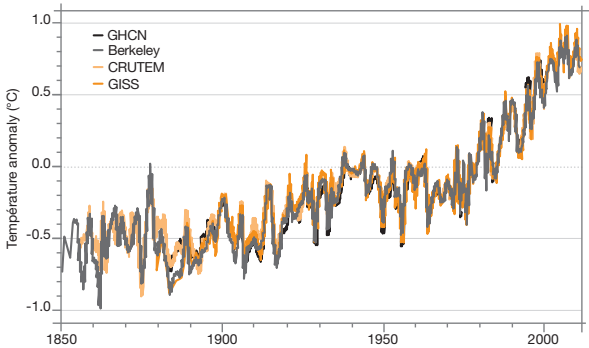
ppb = partie par milliard (billion en anglais)

Gaz	Pouvoir global de réchauffement relatif / CO ₂ à un horizon de 100 ans
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ 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 ₂ -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*

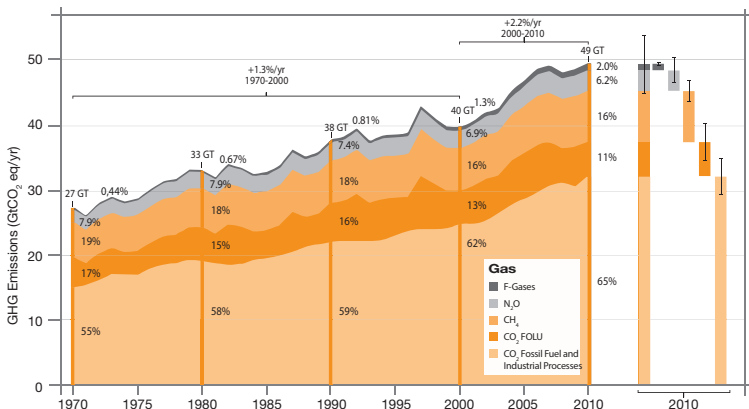
Nom du scénario	Forçage radiatif (par rapport à 1750)	Concentration en GES (ppm)	Trajectoire
RCP 8.5	> 8,5 W/m ² en 2100	> 1 370 ppm CO ₂ e en 2100	croissante
RCP 6.0	~ 6 W/m ² avec stabilisation après 2100	~ 850 ppm en CO ₂ e avec stabilisation après 2100	stabilisation sans dépassement
RCP 4.5	~ 4,5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

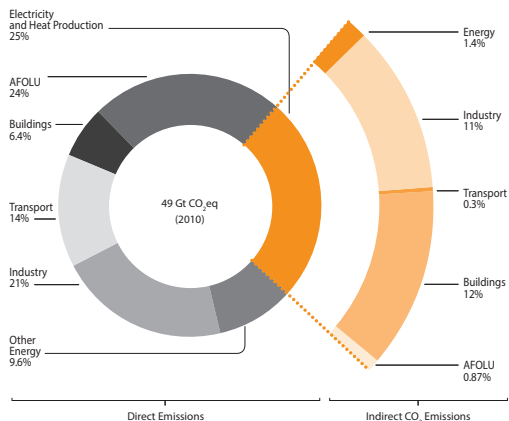
Total World annual anthropogenic GHG Emissions by Groups of Gases (1970-2010)



Source : IPCC 2014

Emissions de gaz à effet de serre par secteurs économiques

Greenhouse Gas Emissions by economic sectors

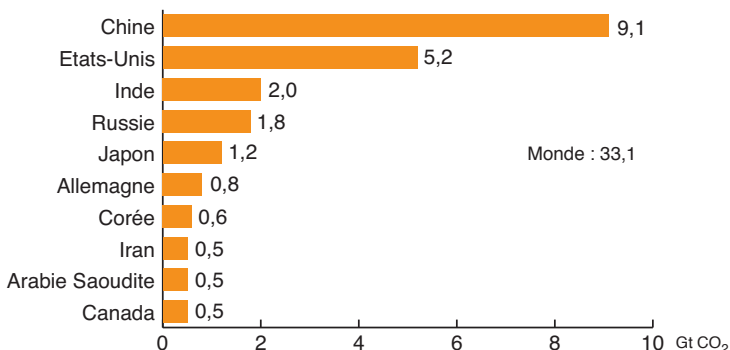


The inner circle shows direct GHG emission shares (% of total anthropogenic GHG emissions) of five different economic sectors during 2010. The pull-out to the right shows how indirect CO₂ emission shares from electricity and heat production are attributed to sectors of final energy use.

Source : IPCC 2014

Les plus gros émetteurs de CO₂ en 2012

The 10 biggest CO₂ emitters in 2012



Source : CO₂ Emissions from fuel combustion, AIE, éd. 2014

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

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

* Résultats issus d'études ACV

** Les émissions considérées sont les principaux gaz contribuant à l'effet de serre. La pondération par leur potentiel de réchauffement global respectif, à horizon 100 ans, permet d'obtenir l'indicateur exprimé en équivalent CO₂.

Source : Profil Environnemental du kWh EDF ; coefficients 2013 utilisés pour les calculs de l'année 2015 sur www.edf.fr

Principaux évènements sur les changements climatiques

Au niveau mondial,

- Mai 1992 : lors de la conférence de Rio de Janeiro, adoption par les Nations Unies de la convention-cadre sur les changements climatiques (CCNUCC)
- Décembre 1997 : ratification du Protocole de Kyoto
- Février 2005 : entrée en vigueur du protocole de Kyoto
- Octobre 2006 : parution du rapport Stern
- Novembre 2007 : parution du 4^e rapport du GIEC
- Décembre 2007 : au cours des négociations de l'ONU à Bali, accord sur une feuille de route pour les deux années à venir pour préparer le cadre post-2012
- Décembre 2008 : autre étape préparatoire à Poznan des futures négociations de l'ONU à Copenhague visant à établir un nouvel accord post-Kyoto
- Décembre 2009 et janvier 2010 : négociations de Copenhague, annonce, par certains pays (dont tous ceux de l'Annexe 1), d'objectifs non contraignants de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour 2020 et, par d'autres, de plans d'actions domestiques
- Décembre 2012 : décision de l'ONU à Doha d'une deuxième période du protocole de Kyoto
- Fin 2013, début 2014 : parution du 5^e rapport du GIEC
- Fin 2015 : négociations post Kyoto à Paris (COP21).

Au niveau européen,

- Juin 2000 : lancement du Programme européen sur les changements climatiques (PECC)
- Janvier 2005 : entrée en vigueur du système européen d'échange des quotas d'émissions de gaz à effet de serre (EU-ETS)
- Octobre 2005 : lancement du second programme européen sur le changement climatique (PECC II)
- Janvier 2007 : annonce par la Commission Européenne d'un objectif à l'horizon 2020 de 20 % de réduction des émissions de gaz à effet de serre, avec une augmentation de 20 % de l'efficacité énergétique, et une part de 20 % d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique totale, dont 10 % de biocarburants dans la consommation totale des véhicules
- Janvier 2008 : présentation par la Commission européenne d'une proposition de mise en œuvre des mesures annoncées en 2007 (Paquet énergie-climat)
- Décembre 2008 : adoption du Paquet-énergie-climat en codécision par le Conseil et le Parlement européen
- Mars 2011 : adoption de la feuille de route climat 2050
- Octobre 2014 : adoption du paquet énergie-climat 2030

Au niveau français,

- Juillet 2005 : adoption de la loi Pope (Programmation fixant les orientations de la politique énergétique de la France)
- Juillet - Décembre 2007 : Grenelle de l'Environnement
- 2009 (resp. 2010) : adoption de la loi Grenelle I (resp. II) par le Sénat et l'Assemblée nationale
- Juillet 2011 : parution du Plan national d'adaptation au changement climatique
- 2012 : première conférence environnementale
- 2013 : Débat national sur la transition énergétique (DNTE)
- Août 2015 : promulgation de la loi transition énergétique pour la croissance verte.

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 (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O), ainsi que trois substituts des chlorofluorocarbures (CFC, interdits par le protocole de Montréal sur la production de la couche d'ozone) : l'hydrofluorocarbure (HFC), le perfluorocarbure (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆). Les pays en voie de développement ne sont pas concernés par ces engagements chiffrés.

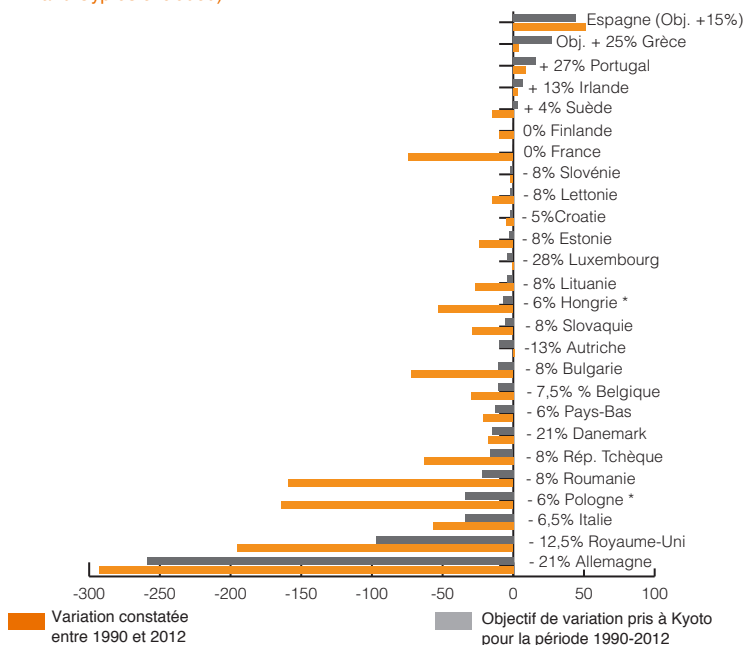
« L'annexe B » est issu de « l'annexe 1 » de la Convention Cadre sur les Changements Climatiques (New York 1992) signée à Rio la même année.

Le protocole ne pouvait entrer en vigueur qu'à la condition qu'il ait été ratifié par au moins 55 pays représentant au moins 55 % du volume total des émissions de dioxyde de carbone en 1990 de l'ensemble des pays figurant dans « l'annexe B ». Les Etats-Unis restent le seul pays développé de l'Annexe B à ne pas l'avoir ratifié. Par suite de l'adhésion de la Russie en novembre 2004, le Protocole de Kyoto a prévu, pour les pays, la possibilité de recourir à des mécanismes dits « de flexibilité », en complément des politiques et mesures qu'ils devront mettre en œuvre au plan national.

Voir <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpfrench.pdf>

Situation des émissions de gaz à effet de serre des pays de l'UE28 vis-à-vis des engagements de Kyoto (hors Malte et Chypre sans objectif)

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



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

Monde : évolution des émissions de CO₂ *

World: evolution of CO₂ emissions *

Mt CO ₂ Mt of CO ₂	1971	1980	1990	2000	2010	2012	%/an 1971 2012 %/year	%/an 1990- 2012 %/year	% 1990- 2012 %
Amérique OCDE ⁽¹⁾ OECD America ⁽¹⁾	4 735	5 453	5 605	6 594	6 419	6 185	0,7	0,5	10,3
dont Etats-Unis of which USA	4 275	4 763	4 860	5 676	5 428	5 173	0,5	0,3	6,4
Amérique non OCDE Non OECD America	350	552	601	819	1 088	1 155	3,0	3,2	92,1
dont Brésil of which Brazil	94	190	205	310	398	448	4,0	3,8	118,5
Europe OCDE ⁽²⁾ OECD Europe ⁽²⁾	3 728	4 223	4 038	4 001	3 927	3 768	0,0	-0,3	-6,7
Union européenne 28 European Union 28	-	-	4 132	3 876	3 713	3 548		-0,7	-14,1
dont France of which France	435	473	368	362	358	339	-0,6	-0,4	-7,8
Europe non-OCDE et Eurasie ⁽³⁾ Non OECD-Europe and Eurasia ⁽³⁾	2 616	3 618	4 173	2 509	2 745	2 939	0,3	-1,7	-29,6
Moyen-Orient Middle East	111	308	548	913	1 581	1 658	7,0	5,4	202,8
Afrique Africa	246	405	602	734	1 062	1 097	3,8	2,9	82,2
Asie Asia	1 316	2 231	3 729	5 509	11 407	12 912	5,9	6,1	246,3
dont Chine of which China	876	1 503	2 425	3 345	7 923	9 184	6,1	6,5	278,7
dont Inde of which India	199	284	591	974	1 762	1 971	5,9	5,9	233,6
OCDE Asie Océanie ⁽⁴⁾ OECD Asia Oceania ⁽⁴⁾	999	1 291	1 632	2 066	2 220	2 329	2,1	1,7	42,7
Monde World	14 612	18 628	21 546	23 982	31 545	33 122	2,1	2,1	53,7
dont OCDE of which OECD	9 462	10 967	11 275	12 661	12 566	12 282	0,7	0,4	8,9
dont soutes maritimes of which marine bunkers	345	348	362	486	644	602	1,4	2,4	66,2
dont soutes aéronautiques of which aviation bunkers	167	200	256	350	453	478	2,7	3,0	86,4

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

(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, République Slovaque, République Tchèque, Royaume Uni, Slovaquie, Suède, Suisse, Turquie - Germany, Austria, Belgium, Denmark, Spain, Estonia, Finland, France, Greece, Hungary, Ireland, Iceland, Italy, Luxembourg, Norway, Netherlands, Poland, Portugal, Slovak Republic, Czech 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 : CO₂ Emission from fuel combustion, AIE, éd. 2014

Monde : émissions de CO₂ par habitant provenant de combustibles fossiles

World: CO₂ emissions per capita from fossil fuels

t CO ₂ / habitant t CO ₂ / capita	1971	1980	1990	2000	2010	2012
Amérique OCDE ⁽¹⁾ OECD America ⁽¹⁾	16,4	16,2	15,0	15,5	13,7	12,7
dont Etats-Unis of which USA	20,7	20,5	19,5	20,2	17,5	16,2
Amérique non OCDE Non OECD America	1,5	1,9	1,7	2,0	2,4	2,5
dont Brésil of which Brazil	0,9	1,5	1,3	1,7	2,0	2,2
Europe OCDE ⁽²⁾ OECD Europe ⁽²⁾	8,1	8,7	7,9	7,6	7,0	6,7
Union européenne 28 European Union 28	-	-	8,6	7,9	7,3	6,9
dont France of which France	8,2	8,4	6,1	6,2	5,5	5,1
Europe non-OCDE et Eurasie ⁽³⁾ Non OECD Europe and Eurasia ⁽³⁾	7,5	10,6	11,6	7,1	7,7	8,0
Moyen Orient Middle East	1,5	3,5	4,4	5,7	7,6	7,7
Afrique Africa	0,7	0,8	0,9	0,8	1,0	1,0
Asie hors Chine Asia exclusive of China	0,4	0,5	0,8	1,1	1,5	1,6
dont Inde of which India	0,4	0,4	0,7	0,9	1,4	1,6
Chine China	1,0	1,5	2,0	2,6	5,4	6,1
OCDE Asie Océanie ⁽⁴⁾ OECD Asia Oceania ⁽⁴⁾	6,3	7,1	8,4	10,0	10,4	10,8
Monde World	3,7	4,1	4,0	3,9	4,4	4,5
OCDE OECD	10,5	10,9	10,5	11,0	10,1	9,7

(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, République Slovaque, République Tchèque, Royaume Uni, Slovénie, Suède, Suisse, Turquie - Germany, Austria, Belgium, Denmark, Spain, Estonia, Finland, France, Greece, Hungary, Ireland, Iceland, Italy, Luxembourg, Norway, Netherlands, Poland, Portugal, Slovak Republic, Czech Republic, United Kingdom, Slovenia, Sweden, Switzerland, Turkey

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

(4) 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

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

Source : CO₂ Emissions from fuel combustion, AIE, éd 2014

Monde : émissions de CO₂ par unité de PIB provenant de combustibles fossiles

World: CO₂ emissions per GDP unit from fossil fuels

kg CO ₂ / US\$2005 selon PPA kg CO ₂ / US\$ using 2005 prices and PPP	1971	1980	1990	2000	2010	2011	2012
Amérique OCDE ⁽¹⁾ OECD America ⁽¹⁾	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4
dont Etats-Unis of which USA	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4
Amérique non OCDE Non OECD America	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
dont Brésil of which Brazil	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Europe OCDE ⁽²⁾ OECD Europe ⁽²⁾	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
Union européenne 28 European Union 28	-	-	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
dont France of which France	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Europe non OCDE et Eurasie ⁽³⁾ Non-OECD Europe and Eurasia ⁽³⁾	1,3	1,2	1,2	1,1	0,7	0,7	0,7
Moyen Orient Middle East	0,1	0,1	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Afrique Africa	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Asie hors Chine Asia exclusive of China	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
dont Inde of which India	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4
Chine China	2,1	2,1	1,4	0,8	0,7	0,7	0,6
OCDE Asie Océanie ⁽⁵⁾ OECD Asia Oceania ⁽⁵⁾	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4
Monde World	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
OCDE OECD	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3

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

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

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

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

Source : CO₂ Emissions from fuel combustion, AIE, éd 2014

Principaux gaz à effet de serre

Main Greenhouse gases

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

Union européenne : émissions de CO₂ par habitant provenant des combustibles fossiles

European Union: CO₂ emissions per capita from fossil fuels

t CO ₂ /habitant t CO ₂ /capita	1971	1980	1990	2000	2010	2012
Allemagne <i>Germany</i>	12,5	13,5	12,0	10,0	9,4	9,2
Autriche <i>Austria</i>	6,5	7,4	7,4	7,7	8,3	7,7
Belgique <i>Belgium</i>	12,1	12,8	10,8	11,6	10,1	9,5
Bulgarie <i>Bulgaria</i>	7,4	9,5	8,6	5,2	6,0	6,1
Chypre <i>Cyprus</i>	2,9	5,1	6,7	9,1	8,8	7,5
Danemark <i>Denmark</i>	11,1	12,2	9,9	9,5	8,5	6,6
Espagne <i>Spain</i>	3,5	5,0	5,3	7,1	5,8	5,8
Estonie <i>Estonia</i>	-	-	22,5	10,7	13,8	12,2
Finlande <i>Finland</i>	8,6	11,5	10,9	10,7	11,6	9,1
France	8,2	8,4	6,1	6,2	5,5	5,1
Grèce <i>Greece</i>	2,8	4,6	6,8	8,0	7,6	7,0
Hongrie <i>Hungary</i>	5,8	7,8	6,4	5,3	4,9	4,4
Irlande <i>Ireland</i>	7,3	7,6	8,7	10,8	8,5	7,7
Italie <i>Italy</i>	5,4	6,4	7,0	7,5	6,6	6,2
Lettonie <i>Latvia</i>	-	-	7,0	2,9	3,9	3,5
Lituanie <i>Lithuania</i>	-	-	9,0	3,2	4,3	4,5
Luxembourg	45,1	32,8	27,1	18,3	20,8	19,2
Malte <i>Malta</i>	2,1	3,1	6,5	5,5	6,0	6,0
Pays-Bas <i>Netherlands</i>	9,8	11,8	10,4	10,8	11,3	10,4
Pologne <i>Poland</i>	8,7	11,6	9,0	7,6	8,0	7,6
Portugal	1,7	2,4	3,9	5,8	4,5	4,3
Rep. Tchèque <i>Czech Republic</i>	15,4	16,1	14,4	11,9	10,9	10,3
Rep. Slovaque <i>Slovak Republic</i>	8,6	11,1	10,7	6,9	6,5	5,9
Roumanie <i>Romania</i>	5,6	7,9	7,2	3,9	3,7	3,9
Royaume-Uni <i>United Kingdom</i>	11,2	10,1	9,6	8,9	7,6	7,2
Slovénie <i>Slovenia</i>	-	-	6,7	7,1	7,5	7,1
Suède <i>Sweden</i>	10,2	8,8	6,2	5,9	5,0	4,3
UE 28 EU 28			8,5	7,9	7,3	6,9
Canada	15,5	17,4	15,5	17,2	15,6	15,3
Chine <i>China</i>	1,0	1,5	2,0	2,6	5,4	6,1
Etats-Unis <i>United States</i>	20,7	20,5	19,5	20,2	17,5	16,2
Japon <i>Japan</i>	7,2	7,5	8,6	9,2	8,9	9,6

Source : CO₂ emissions from fuel combustion, AIE éd 2014

Europe : émissions de CO₂ par unité de PIB provenant des combustibles fossiles

Europe: CO₂ emissions per GDP unit from fossil fuels

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

Source : CO₂ Emissions from fuel combustion, AIE, éd 2014

Europe : émissions de CO₂ par kWh dans le secteur de l'électricité

Europe: CO₂ emissions per kWh from electricity generation

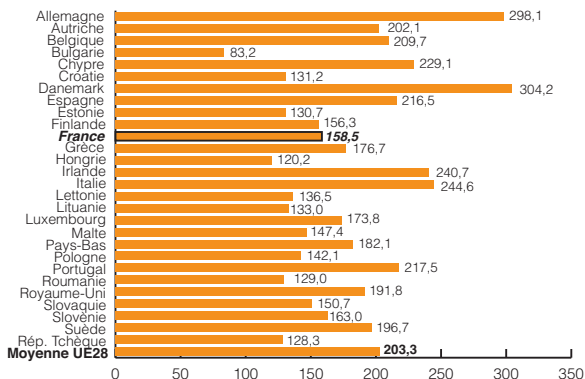
grammes CO ₂ / kWh	1990	1995	2000	2005	2010	2012
Allemagne <i>Germany</i>	607	582	526	496	465	475
Autriche <i>Austria</i>	238	206	170	219	194	165
Belgique <i>Belgium</i>	347	361	291	275	220	212
Bulgarie <i>Bulgaria</i>	761	582	478	506	539	532
Chypre <i>Cyprus</i>	838	822	838	788	705	726
Danemark <i>Denmark</i>	669	588	450	370	358	257
Espagne <i>Spain</i>	427	454	432	396	237	305
Estonie <i>Estonia</i>	944	1073	1063	1048	1014	912
Finlande <i>Finland</i>	188	223	173	164	230	134
France	105	73	75	79	74	69
Grèce <i>Greece</i>	990	946	820	779	718	685
Hongrie <i>Hungary</i>	496	512	469	372	317	314
Irlande <i>Ireland</i>	740	726	642	583	457	457
Italie <i>Italy</i>	575	545	498	486	406	385
Lettonie <i>Latvia</i>	115	134	135	88	120	91
Lituanie <i>Lithuania</i>	158	65	99	101	338	271
Luxembourg	2552	1738	496	347	343	340
Malte <i>Malta</i>	1587	957	819	1034	871	872
Pays-Bas <i>Netherlands</i>	607	546	478	455	415	441
Pologne <i>Poland</i>	988	905	866	818	783	756
Portugal	519	576	486	521	255	364
Rép. Tchèque <i>Czech Republic</i>	744	794	728	614	589	552
Rép. Slovaque <i>Slovak Republic</i>	389	364	245	221	197	194
Roumanie <i>Romania</i>	855	741	579	493	412	481
Royaume-Uni <i>UK</i>	672	529	472	491	445	479
Slovénie <i>Slovenia</i>	429	382	343	349	325	331
Suède <i>Sweden</i>	12	22	22	19	26	12
Union européenne 28	493	443	401	388	346	350
European Union 28						
Canada	196	176	216	200	179	151
Chine <i>China</i>	894	903	885	867	760	734
Etats-Unis <i>United States</i>	582	590	593	574	522	481
Japon <i>Japan</i>	435	412	402	430	418	551

Source : CO₂ Emissions from fuel combustion, AIE éd 2014

DONNÉES ÉCONOMIQUES

Prix TTC € / MWh Année 2014	
Allemagne	298,1
Autriche	202,1
Belgique	209,7
Bulgarie	83,2
Chypre	229,1
Croatie	131,2
Danemark	304,2
Espagne	216,5
Estonie	130,7
Finlande	156,3
France	158,5
Grèce	176,7
Hongrie	120,2
Irlande	240,7
Italie	244,6
Lettonie	136,5
Lituanie	133,0
Luxembourg	173,8
Malte	147,4
Pays-Bas	182,1
Pologne	142,1
Portugal	217,5
Roumanie	129,0
Royaume-Uni	191,8
Slovaquie	150,7
Slovénie	163,0
Suède	196,7
Rép. Tchèque	128,3
Moyenne UE 28	203,3

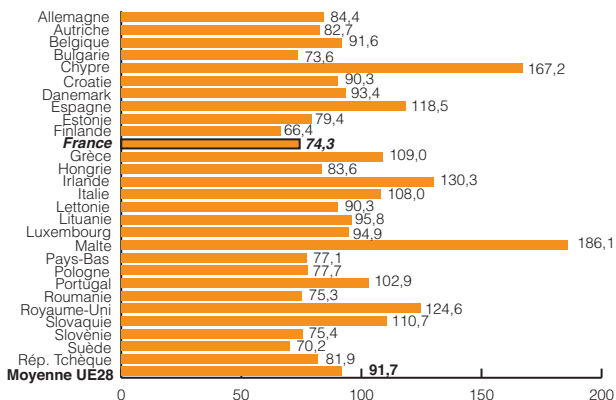
Prix TTC / MWh de l'électricité pour les ménages
de taille moyenne - Année 2014



Source : Eurostat

Prix TTC € / MWh Année 2014	
Allemagne	84,4
Autriche	82,7
Belgique	91,6
Bulgarie	73,6
Chypre	167,2
Croatie	90,3
Danemark	93,4
Espagne	118,5
Estonie	79,4
Finlande	66,4
France	74,3
Grèce	109,0
Hongrie	83,6
Irlande	130,3
Italie	108,0
Lettonie	90,3
Lituanie	95,8
Luxembourg	94,9
Malte	186,1
Pays-Bas	77,1
Pologne	77,7
Portugal	102,9
Roumanie	75,3
Royaume-Uni	124,6
Slovaquie	110,7
Slovénie	75,4
Suède	70,2
Rép. Tchèque	81,9
Moyenne UE 28	91,7

Prix TTC / MWh de l'électricité
pour les industriels de taille moyenne - Année 2014



Source : Eurostat

Exemples de prix moyens des énergies en France

Examples of average prices of energy in France

Prix en monnaie courante Price in legal currency	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014
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 > 3 kVA	12,53 10,6	13,43 11,53	12,51 10,28	12,9 10,57	10,84 10,89	11,61 11,68	12,18 12,25	13,15 13,19	13,77 13,77
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 Heures creuses	9,06 5,14	9,65 5,49	8,58 5,26	8,83 5,38	9,43 6,05	10,2 7,21	10,7 7,59	11,51 8,18	11,88 8,44
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 ⁽¹⁾ , en € TTC, simple tarif Price of 100 kWh GCV ⁽¹⁾ in € including taxes, simple tariff Tarif de base basic price	5,28	4,97	5,15	6,36	8,47	9,4	9,97	10,36	10,21
Industriel Industrial Prix de 100 kWh PCS ⁽¹⁾ , en € HTVA, tarif B2S, selon la saison Price of 100 kWh GCV ⁽¹⁾ in € excluding taxes, B2S tariff depending on season Hiver Winter Été Summer	1,97 1,52	2,02 1,56	2,11 1,64	2,74 2,21	4,1 2,63	4,67 3,21	5,21 3,75	5,18 3,72	4,94 3,32
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 ⁽²⁾ Price of 100 kWh NCV in € including taxes, for a 2,000 - 5,000 l delivery ⁽²⁾ tarif "C1"	3,41	3,06	4,64	5,89	7,18	8,9	9,72	9,3	8,62
Industriel Industrial Prix de 100 kWh PCI, en € HTVA, selon la teneur en soufre ⁽³⁾ Price of 100 kWh NCV in € excluding taxes, depending on percentage of sulphur ⁽³⁾ HTS High percentage BTS Low percentage TBTS Very low percentage	1,02 nd nd	0,99 1,04 1,12	1,55 1,76 1,92	1,96 2,23 2,39	nd nd 3,72	nd nd 4,72	nd nd 5,42	nd nd 4,98	nd nd 4,66

(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 2015, Observatoire de l'énergie

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

Filière	Arrêtés	Durée des contrats	Exemple de tarifs pour les nouvelles installations
Hydraulique	01/03/07	20 ans	• 6,07 c€/kWh + prime comprise entre 0,5 et 2,5 c€/kWh pour les petites installations + prime comprise entre 0 et 1,68 c€/kWh en hiver selon la régularité de la production
			• 15 c€/kWh pour énergie hydraulique des mers (houlomotrice, marémotrice ou hydrocinétique)
Biogaz	19/05/11	15 ans	entre 8,121 et 9,745 c€/kWh selon la puissance + prime à l'efficacité énergétique comprise entre 0 et 4 c€/kWh
Méthanisation	19/05/11	15 ans	entre 11,19 et 13,37 c€/kWh selon la puissance + prime à l'efficacité énergétique comprise entre 0 et 4 c€/kWh et une prime pour le traitement d'effluent d'élevage comprise entre 0 et 2,6 c€/kWh
Energie éolienne	01/07/14	15 ans	• éolien terrestre : 8,2 c€/kWh pendant 10 ans, puis entre 2,8 et 8,2 c€/kWh pendant 5 ans selon les sites
	17/11/08		• éolien en mer : 13 c€/kWh pendant 10 ans, puis entre 3 et 13 c€/kWh pendant 10 ans selon les sites.
Energie éolienne avec dispositif de lissage & prévision de la production dans les zones particulièrement exposées au risque cyclonique	08/03/13	15 ans	23 c€/kWh pendant 10 ans puis entre 5 et 23 c€/kWh selon les sites
Energie photovoltaïque	04/03/11	20 ans	Demande de raccordement envoyée avant le 1 ^{er} juillet 2011 : • installations intégrées au bâti : 46 ; 40,6 ; 40,25 ou 35,2 c€/kWh selon l'usage du bâtiment et la puissance de l'installation • installations intégrées simplifiées au bâti : 30,35 ou 28,85 c€/kWh • autres installations : 12 c€/kWh
			Les tarifs applicables aux projets dont la demande de raccordement a été envoyée après le 1 ^{er} et le 30 septembre 2011 : • installation intégrées au bâti: 42,55 c€/kWh, 37,23, 36,74 ou 31,85 selon l'usage du bâtiment et la puissance de l'installation • installations intégrées simplifiées au bâti: 26,09 ou 27,46 c€/kWh • autres installations: 11,688 c€/kWh
Géothermie	23/07/10	15 ans	Métropole (resp. DOM) : 20 c€/kWh (resp. 13) + prime à l'efficacité énergétique entre 0 et 8 c€/kWh (resp. 0 et 3)
Cogénération	31/07/01	12 ans	6,1 à 9,15 c€/kWh en fonction du prix du gaz, de la durée de fonctionnement et de la puissance
Combustion de matières non fossiles végétales et animales	27/01/11	20 ans	4,34 c€/kWh + prime entre 7,71 et 12,53 c€/kWh selon critères de puissance, de ressources utilisées et d'efficacité énergétique. Son niveau est calculé en fonction de cette dernière
Déchets ménagers sauf biogaz	02/10/01	15 ans	4,5 à 5 c€/kWh + prime à l'efficacité énergétique comprise entre 0 et 0,3 c€/kWh
Autres installations de puissance inférieure à 36 kVA	13/03/02	15 ans	7,87 à 9,60 c€/kWh issu du tarif « bleu » aux clients domestiques

Source : MEDDE 2015

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

France: Uranium prices (Euratom average)

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

(1) US\$ courants/lb U₃O₈ Current US\$/lb U₃O₈

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

Source : rapport annuel Euratom 2014

France : prix CAF des énergies importées

France: CIF prices of imported energy

Monnaie courante Legal currency	1973	1980	1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2013
Cours internationaux moyens International average price										
Brent daté (\$/bl)	-	37,83	23,65	17,04	28,52	54,41	79,44	111,22	111,66	108,7
Brent spot IPE (\$/bl)	-	-	24,87	16,97	28,45	55,09	80,2	110,83	111,68	108,76
Gaz NBP, cours spot (£/THERM) NBP Gas, spot price (£/THERM)	-	-	-	-	20	41,38	43,27	61,18	61,87	68,08
Gaz NBP, cours spot (US\$/Mbtu) NBP Gas, spot price (US\$/Mbtu)	-	-	-	-	3,0	7,45	6,7	9,81	9,81	10,65
Dollar en euro Dollar in euro	0,679	0,644	0,83	0,761	1,085	0,8	0,76	0,72	0,78	0,75
Livre en euro Pound in euro			-	-	1,64	1,46	1,17	1,15	1,23	1,18
Prix moyen à l'importation Average importation price										
CMS (€/t) SMF (€/t)	-	42,1	54,8	48,3	51,4	78,04	112,81	140,35	135,61	101,2
Pétrole brut (€/t) Crude oil	17,5	155,3	136,4	110,2	227,7	315,97	444,96	597,17	653,56	618,57
Pétrole brut (\$/bl) Crude oil	3,52	32,88	22,42	18,63	28,62	53,4	80,83	113,43	114,72	112,09
Produits pétroliers raffinés (€/t) Petroleum products (€/t)	-	159,8	172,4	141,8	277,9	375,9	493,51	636,08	725,47	683,94
Gaz naturel (€/kWh) Natural gas	0,088	0,729	0,794	0,765	1,018	1,5	1,8	2,4	2,8	-
Electricité exportée (€/kWh)						4,24	4,46	4,78	4,48	4,12

btu : british thermal unit -

CAF: Coût Assurance Fret CIF Cost Insurance Freight

CMS : Combustibles Minéraux Solides SMF: Solid Mineral Fuels

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

Source : base de données internet Pégase 2015, Observatoire de l'énergie

GÉNÉRALITÉS

TABLEAU DE MENDELEËV

Tableau périodique des éléments

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

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H hydrogène 1,0079	2 He hélium 4,0026	3 Li lithium 6,941	4 Be beryllium 9,0122	5 B Bore 10,81	6 C carbone 12,0107	7 N azote 14,0067	8 O oxygène 15,9994	9 F fluor 18,9984	10 Ne néon 20,1797	11 Na sodium 22,9898	12 Mg magnésium 24,3050	13 Al aluminium 26,9815	14 Si silicium 28,0855	15 P phosphore 30,9738	16 S soufre 32,06	17 Cl chlore 35,453	18 Ar argon 39,948
19 K potassium 39,0983	20 Ca calcium 40,078	21 Sc scandium 44,9559	22 Ti titane 47,88	23 V vanadium 50,9415	24 Cr chrome 51,9961	25 Mn manganèse 54,938	26 Fe fer 55,845	27 Co cobalt 58,9332	28 Ni nickel 58,6934	29 Cu cuivre 63,546	30 Zn zinc 65,39	31 Ga gallium 69,723	32 Ge germanium 72,64	33 As arsenic 74,9216	34 Se sélénium 78,96	35 Br brome 79,904	36 Kr krypton 83,798
37 Rb rubidium 85,4678	38 Sr strontium 87,62	39 Y yttrium 88,9058	40 Zr zirconium 91,224	41 Nb niobium 92,9064	42 Mo molybdène 95,96	43 Tc technetium 98	44 Ru ruthénium 101,07	45 Rh rhodium 102,9055	46 Pd palladium 106,42	47 Ag argent 107,8682	48 Cd cadmium 112,411	49 In indium 114,818	50 Sn étain 118,710	51 Sb antimoine 121,760	52 Te tellure 127,60	53 I iode 126,9045	54 Xe xénon 131,293
55 Cs césium 132,9054	56 Ba baryum 137,327	57 La lanthane	58 Ce cerium	59 Pr praseodyme	60 Nd néodyme	61 Pm prométhée	62 Sm samarium	63 Eu europée	64 Gd gadolinium	65 Tb terbium	66 Dy dysprosium	67 Ho holmium	68 Er erbium	69 Tm thulium	70 Yb ytterbium	71 Lu lutécium	72 Hf hafnium
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 Ac-Lr actinides	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium	113 Uut uniluthium	114 Fl flérovium	115 Uup unpentanium	116 Lv livermorium	117 Uus unseptanium	118 Uuo ununoctium

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 —

67	La	lanthanum	138.905
68	Ce	cerium	140.116
69	Pr	praseodymium	140.907
70	Nd	neodymium	144.242
71	Pm	promethium	(144)
72	Sm	samarium	150.36
73	Eu	europtium	151.964
74	Gd	gadolinium	157.25
75	Tb	terbium	158.9283
76	Dy	dysprosium	162.50
77	Ho	holmium	164.9303
78	Er	erbium	167.259
79	Tm	thulium	168.9342
80	Yb	ytterbium	173.054
81	Lu	lutetium	174.967
82	Hf	hafnium	178.49
83	Ta	tantalum	180.9479
84	W	wolfram	183.84
85	Re	rhenium	186.207
86	Os	osmium	190.23
87	Ir	iridium	192.222
88	Pt	platinum	195.084
89	Au	gold	196.96657
90	Hg	mercury	200.59
91	Po	polonium	[209]
92	At	astatine	[210]
93	Bi	bismuth	208.9804
94	Pb	lead	207.2
95	Sb	antimony	205.9745
96	Te	tellurium	208.96
97	I	iodine	253.8
98	Xe	xenon	131.29
99	Ac	actinium	227
100	Th	thorium	232.0377
101	Pa	protactinium	231.03688
102	U	uranium	238.02891
103	Np	neptunium	[237]
104	Pu	plutonium	[244]
105	Am	americium	[243]
106	Cm	curium	[247]
107	Bk	berkelium	[247]
108	Cf	californium	[251]
109	Es	einsteinium	[252]
110	Fm	fermium	[257]
111	Md	mendelevium	[258]
112	No	nobelium	[259]
113	Lr	lawrencium	[262]

SYMBOLES

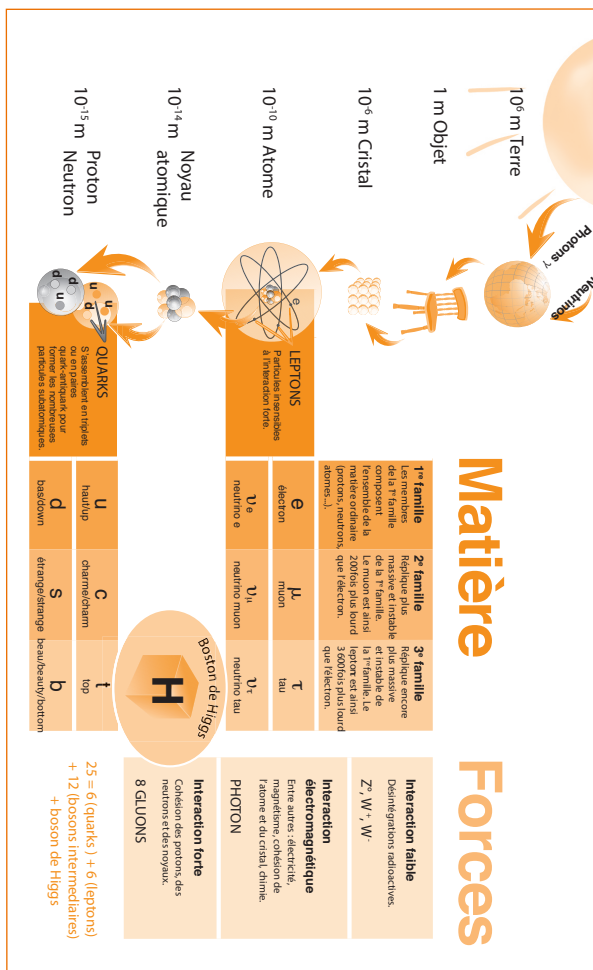
Ag
Am
Ar
Ba
Br
C
Cd
Cl
Co
CO₂
Cs
D
F
H
I
Ir
Kr
N
Na
NO₂
NO_x
Np
K
O
Pu
PuO₂
Ra
Rb
Rh
Rn
Ru
SO₂
SO_x
Sr
T
Tc
Th
Tl
U
UF₆
UO₂
Xe

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

UNITES DE MESURE

	UNITÉ	VALEUR EN SYSTÈME INTERNATIONAL (SI)	SYMBOLE
longueur (L)	fermi	10^{-15} m	fm
	angström	10^{-10} m	Å
	micron	10^{-6} m	μ
	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	$9,109558 \cdot 10^{-31}$ kg	
	dalton ou unité		
	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 (Θ)	kelvin	1 K	K
	degré Celsius	1 K	°C
	électronvolt	11 605 K	eV
quantité de matière	mole	1 mol	mol
surface (L^2)	barn	10^{-28} m ²	b
	are	100 m ²	a
volume capacité (L^3)	litre	10^{-3} m ³	l
	stère	1 m ³	st
	baril de pétrole	$0,15898$ m ³	
fréquence (T^{-1})	hertz	1 s^{-1}	Hz
vitesse linéaire (LT^{-1})	nœud	$0,514 \text{ ms}^{-1}$	
accélération linéaire (LT^{-2})	gal	$0,01 \text{ ms}^{-2}$	
force (MLT^{-2})	dyne	10^{-5} N	dyn
	newton	1 N	N
	kilogramme-force	9,81 N	kgf

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

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

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

Source : Encyclopædia Universalis, 1986.

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

Préfixe	Facteur	Symbole	Préfixe	Facteur	Symbole
exa	10^{18}	E	déci	10^{-1}	d
péta	10^{15}	P	centi	10^{-2}	c
téra	10^{12}	T	milli	10^{-3}	m
giga	10^9	G	micro	10^{-6}	μ
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 ²
1 sq. foot = 144 sq. inches	929,03 cm ²
1 sq. yard = 9 sq. feet	0,8361 m ²
1 acre = 4 roods = 4 840 sq. yards	0,405 ha
1 sq. mile = 640 acres	259 ha

VOLUMES (*Capacity*)

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

POIDS (*Weights*)

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

MESURES NAUTIQUES (Nautical units)

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

TEMPÉRATURE (Temperature)

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

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

CONSTANTES PHYSIQUES

Constantes physiques fondamentales

Constante	Symbole usuel	Valeur	Unité	Incertitude relative (ppm)
vitesse de la lumière dans le vide	c	299 792 458	ms^{-1}	(par définition)
perméabilité du vide	μ_0	$4\pi 10^{-7}$ $= 12,566\,370\,614\dots$	NA^{-2}	(calculé)
permittivité du vide	ϵ_0	$1/\mu_0 c^2$ $= 8,854\,187\,817\dots$	10^{-12} 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} Js	0,60
$h/2\pi$	$\hbar$	1,054 572 66 (63)	10^{-34} Js	0,60
charge élémentaire	e	1,602 177 33 (49)	10^{-19} C	0,30
flux magnétique, $h/2e$	Φ_0	2,067 834 61 (61)	10^{-15} Wb	0,30
masse de l'électron	m_e	9,109 389 7 (54)	10^{-31} kg	0,59
masse du proton	m_p	1,672 623 1 (10)	10^{-27} kg	0,59
quotient des masses				
proton-électron	m_p/m_e	1 836,152 701 (37)		0,020
constante de structure fine	α	7,297 353 08 (33)	10^{-3}	0,045
inverse constante de structure fine	α^{-1}	137,035 989 5 (61)		0,045
constante de Rydberg	R_{∞}	10 973 731,534 (13)	m^{-1}	0,0012
nombre d'Avogadro	N_A, L	6,022 136 7 (36)	10^{23} mol^{-1}	0,59
constante de Faraday, $N_A e$	F	96 485,309 (29)	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} JK^{-1}	8,5
Constante de Stefan-Boltzmann	σ	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} J	0,30
unité de masse atomique	u	1,660 540 2 (10)	10^{-27} kg	0,59
$1 u = m_u = 1/12 m(^{12}\text{C})$				

Source : Handbook of Chemistry and Physics, 74th Ed. 1993, CRC Press.

LE CEA

PRÉSENTATION



Le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

Akteur majeur de la recherche, du développement et de l'innovation, le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives intervient dans quatre grands domaines : les énergies bas carbone, les technologies pour l'information et les technologies pour la santé, la défense et la sécurité globale, les Très grandes infrastructures de recherche (TGIR).

Pour chacun de ces quatre grands domaines, le CEA s'appuie sur une recherche fondamentale d'excellence et assure un rôle de soutien à l'industrie.

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

Parce qu'il a déjà largement prouvé son savoir-faire en matière de transfert technologique, le CEA s'est vu confier par le gouvernement une mission d'intérêt national, en octobre 2012 : diffuser ce savoir-faire, le décliner dans de nouvelles régions pour accompagner les entreprises dans leur démarche d'innovation. En 2014, plusieurs plates-formes régionales de transfert technologique (PRTT) du CEA, faisant partie de l'Institut CEA Tech en Région, ont vu le jour en Aquitaine (à Bordeaux), en Midi-Pyrénées (à Toulouse), en Pays de la Loire (à Nantes), en Provence-Alpes-Côte d'Azur et en Lorraine.

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 :

Les énergies bas carbone

Disposer de formes d'énergie compétitives, sûres et propres, en particulier non émettrices de gaz à effet de serre, constitue un enjeu international majeur pour lequel le CEA est très impliqué.

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

Il participe aux programmes de recherches internationaux sur les réacteurs et combustibles nucléaires du futur qui assureront une production à la fois plus économique, plus sûre et générant moins de déchets. Le CEA a ainsi été mandaté par le Gouvernement pour construire, à l'horizon 2020, un démonstrateur pré-industriel de 4^e génération, ce qui constitue un défi très ambitieux pour évoluer vers un nucléaire durable et encore plus sûr. Le CEA conduit aussi des programmes sur l'impact sanitaire et environnemental de cette source d'énergie.

Les recherches du CEA soutiennent également l'essor des Nouvelles technologies pour l'énergie (NTE) : énergie solaire photovoltaïque et bâtiment à faible consommation d'énergie, technologies pour le stockage de l'électricité (batteries) et nanomatériaux, hydrogène, biocarburants de 2^e et 3^e génération...

La fusion thermonucléaire, dont la maîtrise pourrait permettre dans l'avenir de disposer d'une source quasi infinie d'énergie, est également au cœur de ses recherches. Le CEA

est ainsi fortement impliqué dans le projet international du réacteur expérimental ITER. En amont et en lien avec ses recherches et développements sur les énergies, il conduit différents programmes dans les domaines de la climatologie, des matériaux, de la chimie et des interactions rayonnement-matière.

Technologies pour l'information et la santé

Intervenant en appui de la politique nationale d'innovation industrielle, le CEA dispose d'une recherche technologique de haut niveau dans le domaine des micro et nanotechnologies. Les applications industrielles de ces recherches concernent notamment les télécommunications et les objets communicants. Il exerce également ses compétences dans les domaines de la robotique, de la réalité virtuelle et des technologies logicielles : systèmes embarqués et interactifs, capteurs et traitement du signal.

Grâce aux compétences qu'il a développées dans les biotechnologies et les technologies nucléaires pour la santé (marquage biomoléculaire, imagerie médicale), le CEA est également un acteur de la recherche médicale. Il s'appuie notamment sur des grandes plateformes comme NeuroSpin pour l'imagerie cérébrale à très haut champ et MIRCen pour l'imagerie clinique, et sur les centres nationaux de séquençage (Génoscope) et de génotypage (CNG) rassemblés dans l'Institut de génomique d'Evry.

Ces programmes appliqués s'appuient sur une recherche fondamentale en nanophysique et ingénierie moléculaire, sciences des matériaux et cryotechnologies.

Au service de la Défense nationale

Le CEA a la responsabilité du maintien sur le long terme de la capacité de dissuasion nucléaire française. Ses missions couvrent toutes les étapes de la vie des têtes nucléaires qui équipent les avions et les sous-marins lanceurs d'engins. A la suite de l'arrêt des essais nucléaires, le CEA a mis en oeuvre le programme Simulation, qui s'appuie sur d'importants moyens expérimentaux et de calcul (Airix, laser Mégajoule, supercalculateur Tera). Il développe également son expertise en matière de détonique et d'électromagnétisme.

Le CEA est également responsable de la conception et de la maintenance des réacteurs de propulsion nucléaire (sous-marins, porte-avions).

Dans le cadre de la lutte anti-terroriste, le CEA a renforcé ses moyens d'évaluation et de prévention face aux menaces nucléaires radiologiques, biologiques et chimiques.

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

Les Très grandes infrastructures de recherche (TGIR)

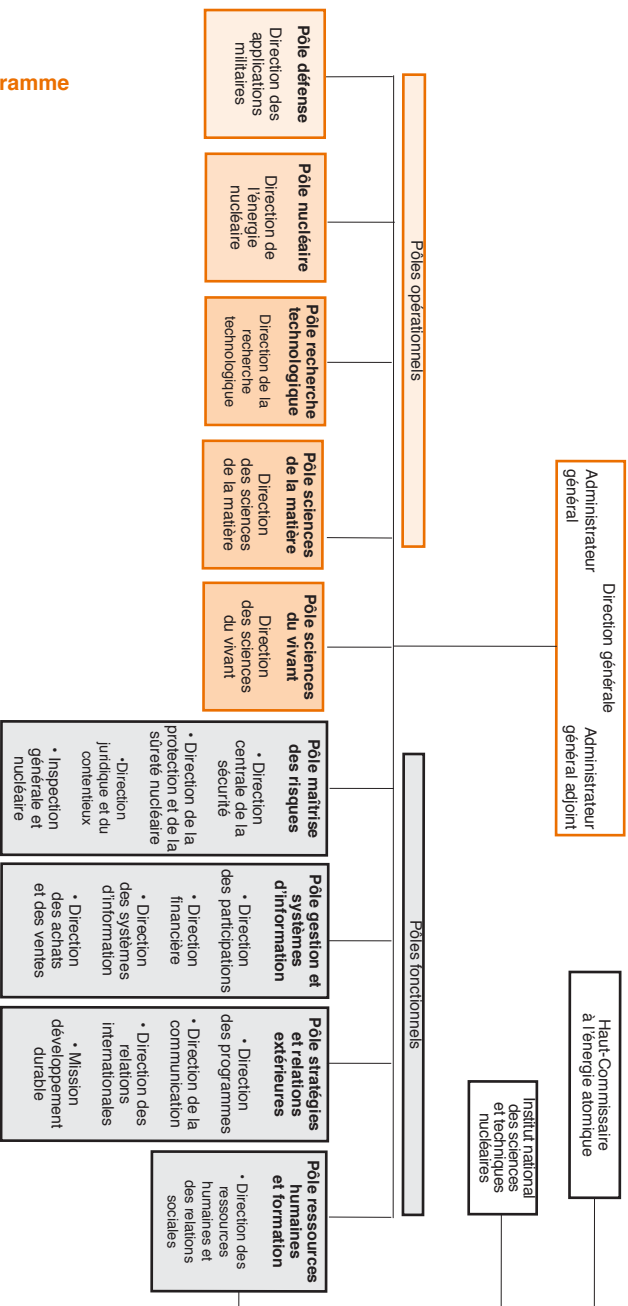
La conception et l'exploitation des Très grandes infrastructures de recherche sont une compétence reconnue du CEA, en France comme à l'international.

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

Les centres de recherche du CEA

- **CEA - Centre de Cadarache**

13108 Saint-Paul-lez-Durance cedex

tél : 04 42 25 70 00

- **CEA - Centre du Cesta**

BP 2

33114 Le Barp

tél : 05 57 04 40 00

- **CEA - Centre DAM-Ile-de-France**

BP 12 - Bruyères-le-Châtel

91297 Arpajon cedex

tél : 01 69 26 40 00

- **CEA - Centre de Fontenay-aux-Roses**

BP 6

92265 Fontenay-aux-Roses cedex

tél : 01 46 54 70 80

- **CEA - Centre de Gramat**

BP 80200

46500 Gramat

tél : 05 65 10 54 32

- **CEA - Centre de Grenoble**

17, rue des Martyrs

38054 Grenoble cedex 9

tél : 04 38 78 44 00

- **CEA - Centre du Ripault**

BP 16

37260 Monts

tél : 02 47 34 40 00

- **CEA - Centre de Saclay**

91191 Gif-sur-Yvette cedex

tél : 01 69 08 60 00

- **CEA - Centre de Valduc**

BP 14

21120 Is-sur-Tille

tél : 03 80 23 40 00

- **CEA - Centre de Marcoule**

BP 171

30207 Bagnols-sur-Cèze cedex

tél : 04 66 79 60 00

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

50 Avenue du Lac Léman

73375 Le Bourget-du-Lac

04 79 79 20 00

www.ines-solaire.org

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

91191 Gif-sur-Yvette cedex

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
- **AIEA** (Agence internationale de l'énergie atomique)
WAGRAMERSTRASSE 5
BP 100
A - 1400 Vienne
AUTRICHE [43] (1) 2060
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
- **ASN** (Autorité de sûreté nucléaire)
6, place du Colonel Bourgoïn
75572 Paris Cedex 12
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 (rubrique "énergie et matières premières")
- **IRSN** (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire)
Centre de Fontenay-aux-Roses - BP 6
92265 Fontenay-aux-Roses cedex
tél : 01 46 54 80 07
www.irsn.org
- **Euratom**
200, rue de la Loi
B 1049 Bruxelles
BELGIQUE [32] (2) 299 11 11
europa.eu.int (thème "énergie")

Les industriels

- **AREVA**

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

- **AREVA NP**

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

- **EDF**

22, avenue Wagram
75008 Paris
tél : 01 40 42 22 22
www.edf.fr

Les associations

- **SFP** (Société française de physique)

33, rue Croulebarde
75013 Paris
tél : 01 44 08 67 10
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

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

- **BRGM** (Bureau de recherches géologiques et minières)

Avenue Claude Guillemin
La Source - BP 6009
45060 Orléans cedex 2
tél : 02 38 64 34 34
www.brgm.fr

- **Direm** (Direction des ressources énergétiques et minérales)

61, boulevard Vincent Auriol

75703 Paris cedex 13

tél : 01 44 87 17 17

- **IFP** (Institut français du pétrole)

232, avenue Napoléon Bonaparte

92852 Rueil-Malmaison Cedex - France

www.ifp.fr

- **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 (rubrique "travaux parlementaires")

Les industriels

- **Charbonnage de France**

100, avenue Albert 1er

92503 Rueil Malmaison

tél : 01 47 52 35 00

www.groupecharbonnages.fr

- **GDF Suez**

23 rue Philibert Delorme

75840 Paris cedex 13

www.gazdefrance.com

Publications périodiques du CEA

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



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

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

Direction de la communication

Bâtiment Siège - 91191 Gif-sur-Yvette cedex

Institut de technico-économie des systèmes énergétiques

Direction de l'énergie nucléaire

Bâtiment 524 - 91191 Gif sur Yvette

www.cea.fr

ISSN - 1280-9039

Imprimé sur papier ECF