

# L'énergie nucléaire



CHANGER L'ENERGIE ENSEMBLE



« Comment concilier  
la production d'électricité  
et l'environnement ? »



« 25 % de la population  
mondiale consomme  
près des 2/3 des  
ressources d'énergie. »



« EDF est-elle  
compétitive ? »



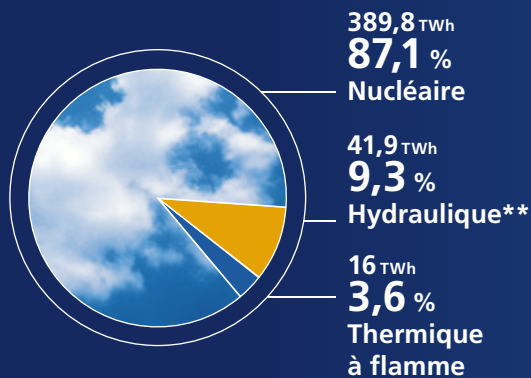
PERFORMANCE  
SÛRETÉ  
MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE  
EDF, au cœur des grands enjeux  
énergétiques, produit des énergies  
en quantité suffisante qui respectent  
l'environnement et assurent au plus  
grand nombre l'accès à l'électricité.

« La demande d'énergie  
pourrait progresser de  
60 % d'ici à 2030. »

# EDF, LEADER EUROPÉEN DE LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

Le groupe EDF est présent sur les quatre premiers marchés européens de l'énergie : l'Allemagne avec EnBW, le Royaume-Uni avec EDF Energy, l'Italie avec Edison et la France où EDF est leader sur son marché. Avec les énergies nucléaire, hydraulique, thermique à flamme et les autres énergies renouvelables, EDF exploite un parc de production d'électricité performant, diversifié et complémentaire.

## PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ D'EDF EN FRANCE CONTINENTALE EN 2009\*



\* Ces valeurs correspondent à l'expression à une décimale de la somme des valeurs précises, compte tenu des arrondis.

\*\* Dont la production des stations de transfert d'énergie par pompage.

## PUISSANCE INSTALLÉE

# 96,8 GW

en France au 31 décembre 2009.

## PRODUCTION NATIONALE\*

# 447,7 TWh

ont été produits en 2009 par EDF en France.

# 95 %

de la production électrique ne produit pas d'émission de gaz à effet de serre.

### UNITÉS DE MESURE

- Le watt (W) est une unité de mesure de puissance mécanique ou électrique.
- Le mégawattheure (MWh) correspond à la production pendant 1 heure d'une installation d'une puissance de 1 mégawatt (MW).
- 1 MW = 1000 kilowatts (kW) = 1 million de watts.
- 1 térawattheure (TWh) correspond à 1 milliard de kWh.

# 23

tranches  
thermiques  
à flamme

et

# 10

turbines  
à combustion

## PARC FRANÇAIS

# 19

centrales  
nucléaires

# 447

centrales  
hydrauliques

# 10

turbines  
à combustion



CNPE Gravelines.  
Mickaël Lenfant,  
apprenti, encadré  
de Jérôme Leboucher,  
électromécanicien,  
et de Lionel Lourdel,  
son tuteur.

Photo de couverture:  
le CNPE de  
Saint-Laurent-  
des-Eaux.

**04**  
**Garantir  
l'indépendance  
énergétique**

Le nucléaire,  
source  
incontournable  
d'énergie

**06**  
**La sûreté,  
une priorité**

Le parc nucléaire  
français sous  
haute surveillance

**08**  
**De l'atome  
à l'électricité,  
comment  
ça marche ?**

Comprendre le  
fonctionnement  
d'une centrale  
nucléaire

**10**  
**Une énergie  
pour l'avenir**

Le nucléaire  
face aux enjeux  
économiques  
et écologiques  
de demain

## Nucléaire, pivot de la production électrique

Afin d'être en mesure de fournir en tout lieu et à tout moment une électricité propre et à un coût abordable, EDF utilise toutes les sources d'énergie: le nucléaire, l'eau, le charbon, le fioul et, de plus en plus, le vent, le soleil, la biomasse. Le nucléaire assure, en continu, l'essentiel de la production électrique française. Les autres sources d'énergie – en particulier le fioul, le charbon et l'eau – sont sollicitées ponctuellement pour faire face aux « pics » de consommation, par exemple lorsqu'il fait très froid. Les moyens de production alors mis en œuvre sont capables de fournir de l'électricité très rapidement. Dans cet ensemble, le nucléaire constitue le « socle » de la production d'électricité d'EDF.



[www.edf.com](http://www.edf.com)

# GARANTIR L'INDÉPENDANCE ÉNERGÉTIQUE

L'électricité d'origine nucléaire représente 17 % de l'énergie électrique produite dans le monde. En France, le choix d'utiliser ce type d'énergie date des années d'après-guerre lorsque le pays décide d'effectuer les **recherches** nécessaires pour développer cette nouvelle source d'énergie. Ce choix a été confirmé dans les années 1960 et surtout à partir de 1973, année du « choc pétrolier » qui vit, pour la première fois, le coût du baril de pétrole quadrupler en quelques semaines seulement. À cette époque, la France achetait à l'étranger 76 % de son approvisionnement en énergie et le pétrole constituait 84 % de ses importations. La décision de construire un parc de centrales nucléaires répondait donc à la volonté de garantir l'indépendance énergétique de la France.

Pari gagné : dès la fin des années 1980, plus de la moitié de la consommation d'énergie est couverte par la production nationale.

EDF est devenu le premier producteur mondial d'électricité nucléaire. Son savoir-faire technologique constitue une référence dans le monde entier.

Aujourd'hui, le nucléaire apparaît de plus en plus comme une source incontournable d'énergie. En effet, la demande mondiale continue d'augmenter, les ressources en pétrole, en gaz et, à plus long terme, en charbon, sont limitées et, enfin, il faut agir contre le réchauffement de la planète. Or le nucléaire ne produit pas de gaz à effet de serre.

## RECHERCHES

En 1956, le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) met en service le premier réacteur nucléaire français sur le site de Marcoule (Gard). EDF y couple un générateur d'électricité.



## Quelles ressources en énergie pour demain ?

La demande mondiale d'énergie devrait augmenter de 60 % d'ici à 2030 et celle d'électricité devrait doubler dans les 30 prochaines années. Sur la base de ces prévisions, les ressources devraient s'épuiser d'ici à 40 ans pour le pétrole, 70 ans pour le gaz naturel et 200 à 300 ans pour le charbon. Les ressources en uranium, elles, sont abondantes. Elles proviennent de pays stables comme le Canada et l'Australie. Dans ce contexte énergétique, le nucléaire constitue une réponse durable et économique.



## Le nucléaire français en chiffres

Deux types de centrales ont été construits en France : «graphite gaz» (UNGG), une technologie française, et «à eau pressurisée» (REP), une technologie américaine. Dans les années soixante, 6 unités de production UNGG sont mises en service, 58 REP entre 1970 et 1993. Actuellement, le parc nucléaire français est constitué de **58 unités de production** réparties sur 19 centrales : 34 de 900 MW, 20 de 1300 MW et 4 de 1500 MW. Il produit 390 milliards de kWh par an et assure plus de 87 % de la production d'électricité d'EDF, qui propose ainsi à ses clients un kWh parmi les plus compétitifs d'Europe. La France est la deuxième puissance électro-nucléaire au monde, derrière les États-Unis.



**Unités de production.** Une unité de production est constituée d'un réacteur, de générateurs de vapeur, d'une turbine et d'un alternateur qui produit l'électricité.



### LE SAVIEZ-VOUS ?

95 % de l'électricité d'EDF sont produits sans émission de CO<sub>2</sub> grâce au nucléaire et à l'hydraulique. Le protocole de Kyoto prévoit une réduction de 5,7 % des émissions de CO<sub>2</sub> dans les pays industrialisés en 2010 par rapport à 1990 (8 % pour les pays européens).

# LA SÛRETÉ, UNE PRIORITÉ

La sûreté regroupe l'ensemble des dispositions mises en œuvre à chaque étape de la vie d'une centrale, dès sa conception, pour que son activité n'ait aucune incidence sur l'homme et sur l'environnement. Pour EDF, cette priorité repose sur le professionnalisme des équipes, la rigueur d'exploitation, la fiabilité des installations et le respect à la lettre des réglementations sous le contrôle de l'**Autorité de sûreté nucléaire**.

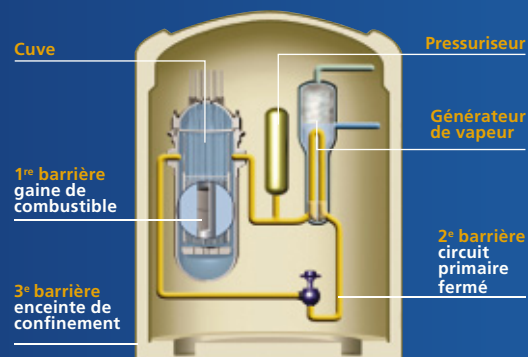
Deux principes fondamentaux sont appliqués pour la prévention des risques : la « défense en profondeur », qui consiste à mettre plusieurs « lignes de défense » successives en imaginant de possibles défaillances des matériels et des hommes, et la « redondance des circuits », qui repose sur la répétition des systèmes de sûreté. Par ailleurs, la fission est contrôlée et peut être arrêtée à tout moment, le cœur du réacteur ne cesse jamais d'être refroidi et les produits radioactifs sont confinés derrière trois barrières successives (voir schéma).

Cette culture de sûreté s'accompagne d'une maîtrise rigoureuse des impacts sur l'homme et sur l'environnement. Avant même la construction d'une centrale, EDF procède à un bilan radio-écologique à partir de l'état initial de chaque site, « le point zéro », qui sera le point de référence pour les analyses ultérieures. Au cours de l'exploitation, la centrale fait l'objet d'une double surveillance : le laboratoire de chaque centrale effectue des mesures et prélèvements sur l'air, l'eau et la flore dans un périmètre de 5 km autour du site et les services des ministères de la Santé et de l'Industrie contrôlent ensuite ces analyses. De même, les effluents liquides et gazeux des centrales subissent de multiples opérations avant d'être stockés pour diminuer leur radioactivité.

## AUTORITÉ DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) 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 aux activités nucléaires. Dotée du statut d'Autorité administrative indépendante, elle contribue à l'information des citoyens.

## 3 BARRIÈRES DE SÛRETÉ ENTRE LE COMBUSTIBLE ET L'ENVIRONNEMENT





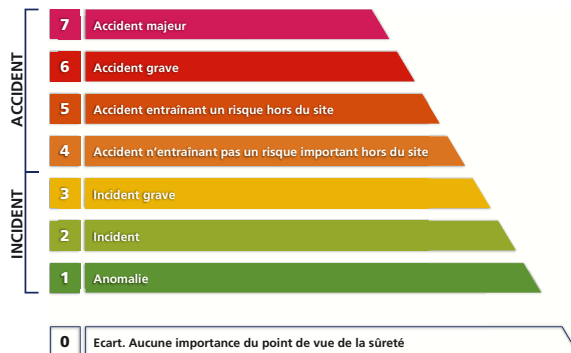


## Les exercices de crise

Chaque année, pour chaque centrale nucléaire, 7 à 8 exercices de simulation d'accidents sont organisés en association avec les pouvoirs publics locaux et nationaux afin d'entraîner les équipes à répondre à toutes les situations. De même, les pilotes de réacteurs suivent 6 semaines de stage sécurité par an.

## L'échelle Ines

L'échelle internationale des événements nucléaires Ines (International nuclear event scale) a été mise en place par la France en 1987 et reprise au niveau international au début des années 90. Composée de 7 niveaux, elle permet de mesurer l'importance des incidents ou des accidents survenus dans une installation nucléaire.



## Les déchets

EDF met en œuvre une gestion rigoureuse des déchets issus des centrales nucléaires avec la limitation des volumes de déchets produits à la source, le tri sélectif par nature et par niveau d'activité, et un conditionnement adapté. Des stockages sont déjà opérationnels pour les déchets issus de l'exploitation et de la maintenance des centrales, dits «à vie courte», dans les centrales de stockage de l'Agence nationale des déchets radioactifs (Andra), dans l'Aube. Les déchets issus du retraitement du combustible usé, dits «à vie longue», sont, eux, entreposés dans les usines de la Cogema. Au terme de 15 années de recherche prévues par la loi Bataille de 1991, la loi-programme sur la gestion des matières et des déchets radioactifs a été adoptée par le Parlement le 15 juin 2006. Cette loi prévoit, entre autres, le principe d'un stockage réversible des déchets ultimes en couche géologique profonde à l'horizon 2025.



EDF a obtenu la **certification ISO 14001**, label international sur l'environnement (contrôle de la qualité de l'air, de l'eau, etc.).

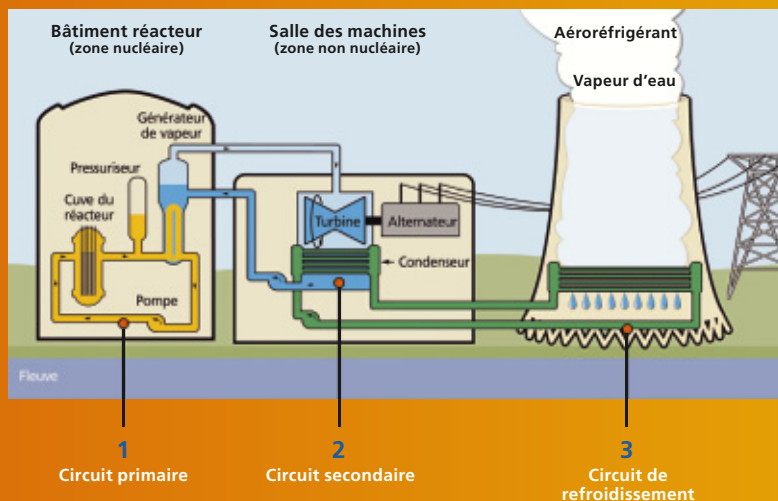
# DE L'ATOME À L'ÉLECTRICITÉ, COMMENT ÇA MARCHE ?

(1) Dans le réacteur, la fission nucléaire produit une grande quantité de chaleur. L'eau chauffée à 320 °C circule dans le circuit où elle est mise sous pression pour la maintenir à l'état liquide.

(2) Le circuit primaire chauffe le circuit secondaire par échange thermique. Dans le générateur de vapeur, c'est l'eau du circuit secondaire qui se transforme en vapeur. Elle fait tourner une turbine couplée à un alternateur qui produit de l'électricité. L'électricité transite ensuite sur les lignes à très haute tension à partir du transformateur.

(3) L'eau du circuit de refroidissement refroidit le circuit secondaire au contact de l'air dans l'aéroréfrigérant. Dans les centrales sans aéroréfrigérant, le refroidissement s'effectue grâce à de l'eau en provenance de la mer ou d'un fleuve.

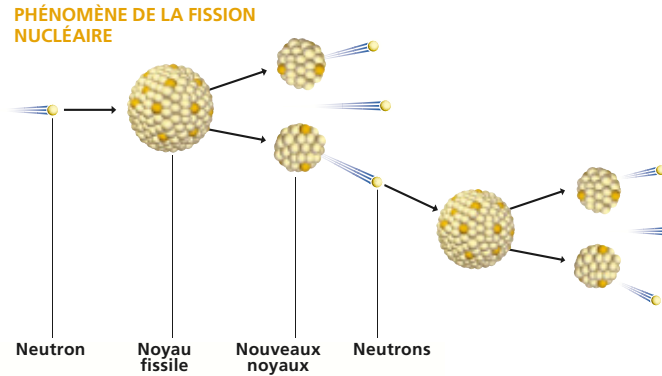
FONCTIONNEMENT D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE AVEC AÉRORÉFRIGÉRANT





## La source de chaleur: la fission nucléaire

Lors de la fission nucléaire, un neutron est projeté sur un atome d'uranium, le noyau. En se cassant, celui-ci libère deux ou trois neutrons qui vont à leur tour aller frapper d'autres noyaux. C'est ce que l'on appelle la réaction en chaîne, qui produit de la chaleur.



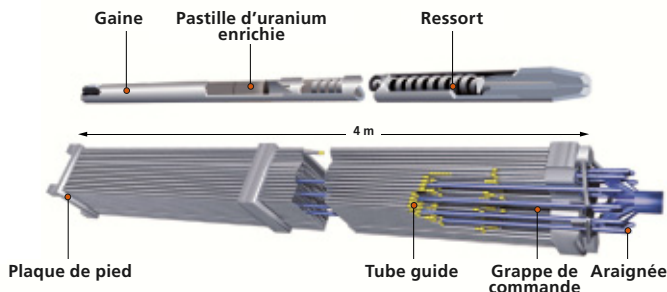
### AU CŒUR DE L'ATOME

Le noyau des atomes, plus petites parties d'un corps simple, est formé de protons (de charge électrique + 1) et de neutrons (de charge électrique nulle). Le nombre de neutrons est voisin du nombre de protons, mais peut varier dans ce qu'on appelle les isotopes d'un élément.

# 235

**Le combustible: l'uranium.** On utilise l'uranium dit « 235 » parce qu'il est le seul atome fissile (susceptible de subir la fission) naturel. Il existe dans la nature en proportion insuffisante; il doit donc être « enrichi » afin d'augmenter le nombre d'atomes. L'uranium se transforme alors en oxyde d'uranium, utilisé comme combustible dans les centrales. Lors de la

### CRAYON ET ASSEMBLAGE



combustion, l'oxyde d'uranium est comprimé en pastilles cylindriques enfermées dans des gaines métalliques étanches et placées dans des tubes appelés « crayons ». Ceux-ci sont réunis en assemblages pour être introduits dans le réacteur. Le cœur comprend de 150 à 200 assemblages.



## Le pilotage de la centrale

La centrale est pilotée depuis une salle de commande. Pour augmenter ou diminuer la production d'électricité, les opérateurs agissent sur l'intensité de la réaction en chaîne au moyen de grappes de commande. En cas de situation anormale, les grappes chutent automatiquement et arrêtent le réacteur en quelques secondes.

# UNE ÉNERGIE POUR L'AVENIR

En France, comme en Europe et dans le monde entier, l'humanité est confrontée à un défi majeur: comment assurer le développement économique, répondre à une demande d'énergie en hausse, alors que les réserves pétrolières, gazières et charbonnières sont limitées et qu'il faut tout faire pour enrayer le réchauffement de la planète? Le recours aux énergies renouvelables et aux économies d'énergie constitue une partie de la solution, mais il ne saurait suffire.

Toutes les énergies doivent être mises à contribution et, parmi elles, le nucléaire, capable de fournir un kWh compétitif, qui a montré sa disponibilité et, surtout, qui ne produit pas de gaz à effet de serre.

De nombreux pays relancent leur programme de construction de réacteurs: Finlande, Chine, États-Unis, Grande-Bretagne...

C'est dans ce contexte qu'EDF a lancé le nouveau réacteur EPR à Flamanville, en Normandie, encore plus sûr, plus économe, plus performant. Flamanville 3 est un investissement indispensable qui s'inscrit dans le programme d'EDF de construction de 5000 MW supplémentaires de capacités de production électrique pour répondre aux besoins d'électricité en constante augmentation en France et en Europe.

Ce nouveau réacteur représente en outre un enjeu majeur pour EDF car il participe au maintien d'un haut niveau de compétence dans la construction et l'**exploitation de centrales nucléaires**.

## EXPLOITATION DES CENTRALES

De nombreux équipements peuvent durer plus longtemps que 40 ans. D'autres sont rénovés ou remplacés au cours de l'exploitation. L'installation dans son ensemble peut donc durer plus longtemps que sa valeur de conception, pour peu que les composants essentiels pour la sûreté que sont la cuve et l'enceinte de confinement (pas ou difficilement remplaçables) soient conformes au standard de sûreté.

À ce jour, l'évolution des matériels dans le temps, en particulier de la cuve du réacteur et du bâtiment en béton contenant le réacteur, fait l'objet d'études et d'examens pour confirmer leur aptitude à fonctionner, en toute sûreté, 40 ans et plus. Tous les matériels sont contrôlés régulièrement.



#### POUR EN SAVOIR +

À proximité de chaque centrale nucléaire se trouve un centre d'information du public doté de supports d'exposition pédagogiques, ludiques et interactifs pour découvrir et expliquer la production électro-nucléaire.



## EPR

L'EPR (European pressurized water reactor) est un réacteur à eau pressurisée développé depuis les années 90 par EDF et Areva, en partenariat avec les électriciens allemands.

Il propose quatre systèmes de sauvegarde, chacun étant capable d'interrompre la réaction nucléaire et de provoquer le refroidissement du réacteur en cas d'incident.

Il permet une diminution de 17 % de la consommation de combustible et une réduction de 30 % de la production de déchets. Il sera le réacteur le plus puissant du monde avec ses 1650 MW.

Robert Pays,  
directeur adjoint  
de la Division  
ingénierie  
nucléaire.



## «L'EPR n'est pas très différent des réacteurs actuels»

« **Faux!** Avec l'EPR, d'importants progrès vont être réalisés dans trois domaines: la sûreté, la disponibilité et l'impact sur l'homme et l'environnement. Pour ce qui concerne la sûreté, nous allons encore diviser par 10 la probabilité de fusion du cœur, grâce, en particulier, au doublement de la redondance des circuits. Autrement dit, lorsqu'il y en avait deux, il y en a désormais quatre. La disponibilité de fonctionnement sera accrue, du fait que la maintenance pourra être réalisée tandis que le réacteur est en marche; elle passera alors de 83 % actuellement à 91 %. Enfin, concernant l'impact sur l'homme et l'environnement, l'EPR va permettre une baisse de 30 % du volume des déchets à vie longue, grâce, notamment, à une meilleure utilisation du combustible. »

# IMPLANTATION DES CENTRALES NUCLÉAIRES EDF EN FRANCE



EDF  
Cap Ampère – 1, place Pleyel  
93282 Saint-Denis cedex

Siège social: 22-30, avenue de Wagram, 75008 Paris  
SA au capital de 924 433 331 euros  
RCS Paris 552 081 317

[www.edf.com](http://www.edf.com)



CHANGER L'ÉNERGIE ENSEMBLE