



LE CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE UTILISÉ DANS LES CENTRALES EDF

Le cycle du combustible nucléaire français est constitué de l'ensemble des étapes industrielles suivies par l'uranium, de son extraction au stockage des déchets radioactifs produits par le combustible utilisé.

Le cycle du combustible comprend également l'étape de traitement du combustible utilisé pour réutilisation des matières valorisables. EDF est responsable de l'ensemble du cycle et s'assure du bon déroulement des opérations industrielles qui le constitue.

EDF, RESPONSABLE DES OPÉRATIONS LIÉES AU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

LE CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE COUVRE LES ÉTAPES SUIVANTES :

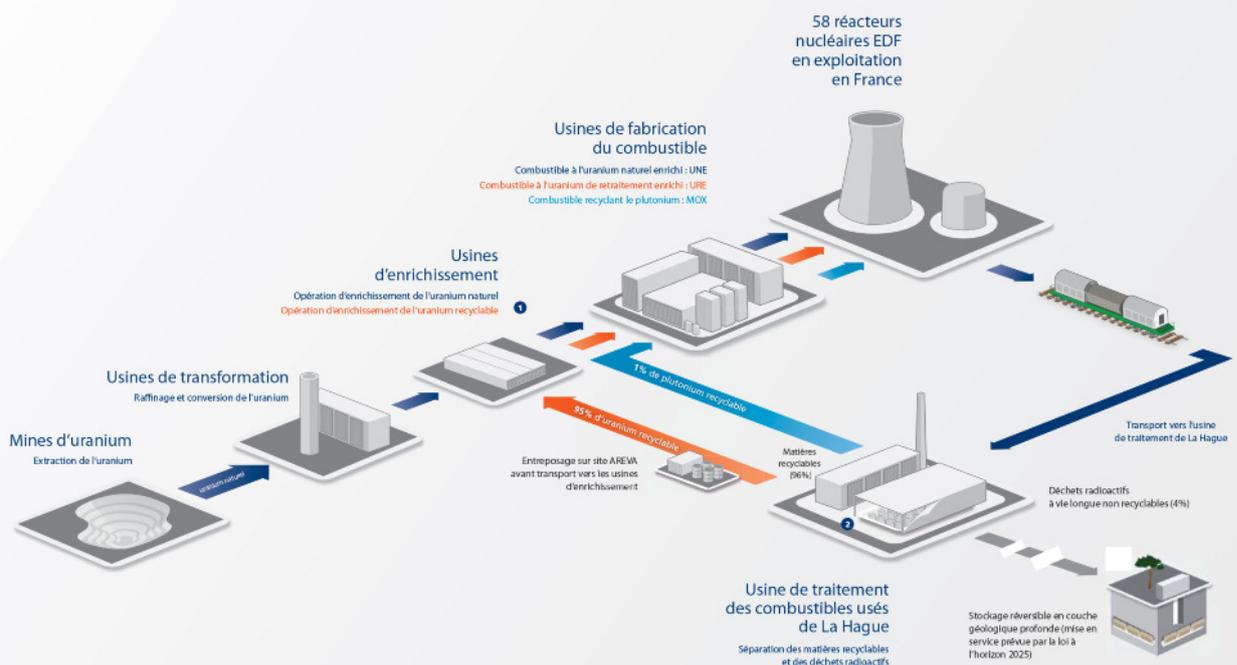
- l'achat d'uranium naturel, auprès de différentes sociétés minières dans le cadre de contrats à moyen et long terme ;
- la conversion de l'uranium, qui est la transformation chimique de l'uranium en vue de son enrichissement ;
- l'enrichissement, opération permettant d'augmenter la teneur en isotopes fissiles (uranium 235) de l'uranium naturel ;
- la fabrication de l'assemblage combustible, produit manufacturé complexe, afin de permettre la production d'électricité dans les centrales nucléaires EDF ;
- le chargement du combustible nucléaire en réacteur, puis son déchargement après plusieurs cycles d'utilisation ;
- le traitement du combustible usé, en vue de son traitement et de sa réutilisation sous forme de combustible MOX* ou d'uranium de traitement enrichi URE* ;
- l'entreposage des déchets issus du combustible usé dans l'attente d'un stockage définitif en profondeur.

(*cf encadré page 4)

AFIN DE COUVRIR L'ENSEMBLE DES BESOINS EN URANIUM NÉCESSAIRE À LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ ET POUR MAÎTRISER LES DIFFÉRENTES ÉTAPES DU CYCLE DE CE COMBUSTIBLE, EDF SE CHARGE DE :

- sécuriser son approvisionnement en uranium enrichi, en diversifiant ses fournisseurs et en ayant des contrats de longue durée ;
- organiser l'ensemble des transports de matière pour chaque étape du cycle, sous le contrôle des pouvoirs publics et dans le respect des réglementations nationales et internationales ;
- assurer, conformément à la loi du 28 juin 2006, la responsabilité du traitement et du devenir de ses combustibles usés et des déchets associés produits par les centrales nucléaires, en veillant que le stockage final, confié à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), se réalise dans les meilleures conditions économiques, environnementales et de sûreté.

De la mine d'uranium au traitement du combustible usé



PREMIÈRE ÉTAPE : SÉCURISER L'APPROVISIONNEMENT EN COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE

Il faut environ deux à trois années depuis l'extraction du minerai d'uranium pour disposer des assemblages combustibles, utilisés dans le réacteur de la centrale nucléaire. La fabrication des assemblages combustibles nécessite les étapes suivantes :

L'EXTRACTION DE L'URANIUM NATUREL

L'uranium naturel est un minerai qui provient de gisements exploités dans des mines souterraines ou à ciel ouvert. Il est présent dans la croûte terrestre et se compose d'uranium 238 et d'uranium 235 (à hauteur de 0,7 %). Seul l'uranium 235 peut être utilisé comme combustible dans les réacteurs actuels. Une fois l'uranium brut extrait des mines, il fait ensuite l'objet d'un processus de conversion, puis d'enrichissement.

LA PURIFICATION ET LA CONCENTRATION DE L'URANIUM

L'uranium, après son extraction, va suivre plusieurs opérations chimiques. La première consiste à le concentrer, le plus souvent sous forme d'une poudre jaune appelée « yellow cake ». 1 000 tonnes de minerai donnent 1,5 à 10 tonnes de « yellow cake », contenant 75% d'uranium.

LA CONVERSION, OU FLUORATION

Il s'agit d'un procédé chimique pour purifier l'uranium et le transformer en cristaux d'hexafluorure d'uranium (UF₆) en vue de son enrichissement à l'étape du cycle suivante.

L'ENRICHISSEMENT ET LE CONDITIONNEMENT

L'opération d'enrichissement vise à accroître la proportion d'uranium 235 dans l'uranium utilisé dans la centrale. Elle entraîne également la production d'uranium dit « appauvri » dont la teneur en uranium 235 est plus basse que celle de l'uranium naturel. L'uranium appauvri est conservé pour être réutilisé plus tard, si nécessaire dans le souci d'une gestion optimale des ressources. Il est d'ailleurs déjà réutilisé pour fabriquer le combustible MOX. (voir page suivante)

Des partenaires industriels du monde entier

Pour réaliser les différentes étapes nécessaires à l'enrichissement de l'uranium, EDF travaille avec différents partenaires industriels, tels que le groupe français Areva, mais aussi les entreprises Urenco (Grande-Bretagne / Allemagne / Pays-Bas), Tenex (Russie), ou encore USEC (Etats-Unis).



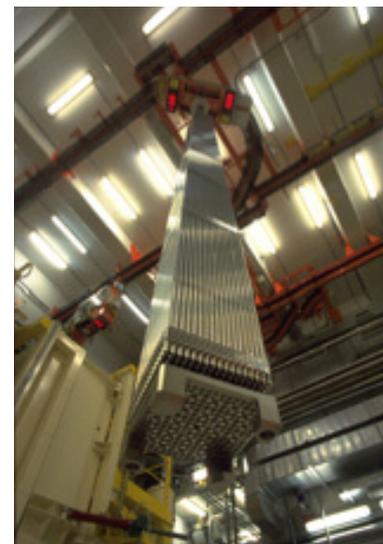
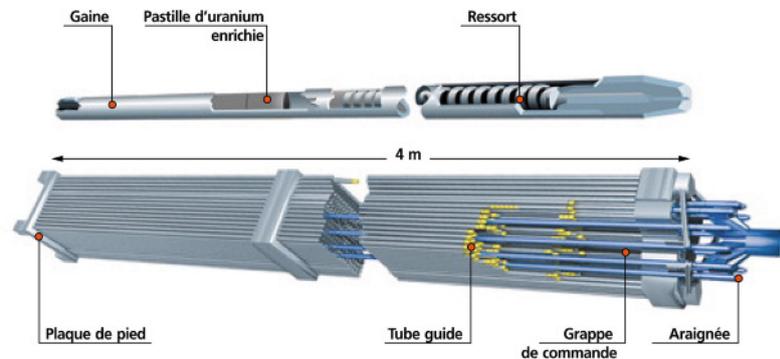
LA FABRICATION DES ASSEMBLAGES COMBUSTIBLES

L'uranium enrichi est ensuite transformé sous forme de pastilles (7 grammes pour environ 1 centimètre de diamètre et de hauteur), empilées dans des tubes en alliage de zirconium pour former des crayons. Ces crayons sont ensuite insérés dans des grilles de maintien afin de former un assemblage combustible d'environ 4 mètres de haut, destiné à être placé verticalement dans le cœur du réacteur (264 crayons par assemblage combustible). La gaine du crayon (1mm d'épaisseur) constitue la première barrière de sûreté* du combustible nucléaire, et l'assemblage est conçu pour séjourner 4 à 5 ans en réacteur.

Le groupe français AREVA et l'entreprise américaine Westinghouse sont les principaux fabricants d'assemblages combustibles nucléaires et les deux fournisseurs d'EDF à ce jour.

* Les trois barrières de sûreté sont des obstacles physiques à la dispersion de produits radioactifs dans l'environnement, en les entourant et en les enfermant lorsque le réacteur est en fonctionnement. Il s'agit de la gaine du crayon combustible qui enveloppe les pastilles d'uranium, de l'enveloppe du circuit primaire qui maintient l'étanchéité de ce circuit et de l'enceinte de confinement qui est une paroi en béton entourant le circuit primaire.

un assemblage de combustible neuf



Economiser et gérer au mieux les ressources en uranium

La stratégie d'EDF, en accord avec l'Etat français, est de traiter le combustible usé pour en extraire le plutonium, et de recycler ce dernier sous forme de combustible MOX*. Ce recyclage permet d'économiser jusqu'à 17% d'uranium naturel. Il faut savoir que pour produire de l'électricité, les 58 réacteurs des 19 centrales nucléaires françaises d'EDF consomment au total environ 1 200 tonnes de combustibles par an (2 400 assemblages combustibles neufs sont chargés annuellement dans les réacteurs).

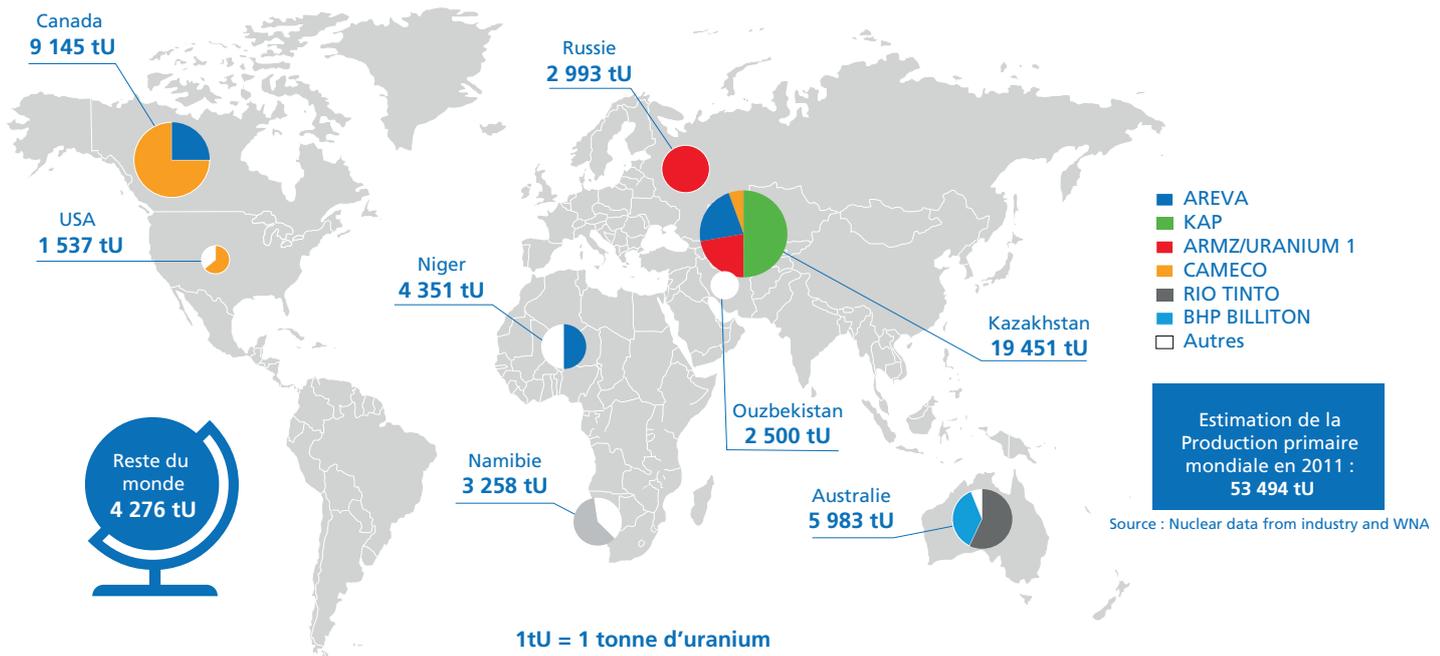
2 combustibles différents sont utilisés :

- **Le combustible UO₂** (1 000 tonnes consommées par an environ), est fabriqué à partir de l'uranium naturel, directement issu de l'extraction minière, converti puis enrichi.

- **Le combustible MOX** (120 tonnes par an environ) : le MOX (mixed oxide) est un combustible fabriqué à partir du plutonium issu du traitement du combustible usé (10 tonnes de plutonium produit par le traitement d'environ 1 000 tonnes de combustible usé par an), et de l'uranium appauvri issu de l'étape d'enrichissement de l'uranium. Il est fabriqué par l'usine Melox appartenant au groupe AREVA, située dans le Gard.

Son utilisation est autorisée pour 22 réacteurs du parc. L'utilisation du MOX permet aujourd'hui d'économiser les ressources en uranium naturel (120 tonnes de MOX permettent de remplacer environ 120 tonnes d'uranium naturel, soit 1 000 tonnes de réserves de minerai). Les 22 réacteurs autorisés à utiliser du MOX sont Tricastin 1 à 4, Dampierre 1 à 4, Gravelines 1 à 6, Saint Laurent 1 et 2, Blayais 1 et 2 et Chinon 1 à 4. Une demande d'autorisation est en cours d'instruction pour deux réacteurs supplémentaires à la centrale du Blayais.

Répartition des producteurs d'uranium dans le monde



Chiffres clés

Les ressources en uranium connues à ce jour permettent de garantir l'approvisionnement de toutes les centrales nucléaires existantes dans le monde pour les 100 prochaines années. Les besoins en uranium naturel d'EDF représentent 15% du marché mondial.

Sécuriser les ressources en uranium : une priorité pour EDF

La sécurité de l'approvisionnement en uranium constitue un enjeu stratégique pour EDF. En effet, le nucléaire représentant 80% de la production d'électricité nationale, EDF, en sa qualité d'exploitant des centrales nucléaires, a en charge de maîtriser la sécurité de ses approvisionnements. Afin de couvrir l'ensemble de ses besoins, l'entreprise veille à disposer de stocks suffisants à chaque étape du cycle. EDF a choisi de diversifier son approvisionnement en uranium auprès de différents fournisseurs situés dans plusieurs pays du monde : le Kazakhstan, le Canada, l'Australie ou encore le Niger. Ces pays concentrent près de 2/3 des ressources mondiales.

DEUXIÈME ÉTAPE : LE PASSAGE DU COMBUSTIBLE EN RÉACTEUR

LE TRANSPORT DES ASSEMBLAGES COMBUSTIBLES NEUFS

Pour être acheminé vers les centrales où il sera utilisé, le combustible neuf est transporté dans des emballages adaptés, par le train ou par la route depuis les usines de fabrication. En ce qui concerne les assemblages combustibles MOX, ces derniers sont placés dans un emballage spécial disposé sur une remorque blindée. Leur transport s'effectue par la route sous protection spécifique, à partir de l'usine Melox, du groupe AREVA, située à Marcoule dans le Gard, vers les centrales EDF. Ces dispositions spécifiques sont appliquées en raison de la réglementation mise en place pour le transport de matières constituées en partie de plutonium.

Dans les deux cas, une fois réceptionnés et inspectés par les équipes de la centrale à laquelle ils étaient destinés, les assemblages combustibles, une fois réceptionnés et inspectés par les équipes de la centrale, sont entreposés sous eau dans une piscine située dans le bâtiment combustible en zone nucléaire.

ZOOM : Comment l'énergie est-elle produite dans une centrale nucléaire ?

La fission des noyaux d'uranium contenus dans le combustible crée une forte chaleur dans le réacteur. Cette chaleur chauffe l'eau du circuit primaire (qui traverse la cuve du réacteur), qui chauffe l'eau d'un second circuit (le circuit secondaire) par échange thermique. Dans le générateur de vapeur, l'eau du circuit secondaire se transforme ainsi en vapeur, qui fait tourner une turbine, qui elle-même enclenche l'alternateur. L'alternateur transforme l'énergie produite par la turbine en électricité.

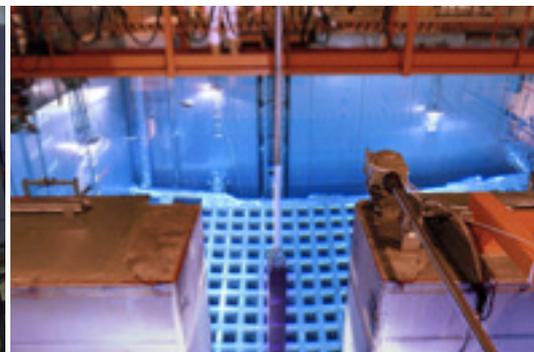
LE CHARGEMENT ET L'UTILISATION DANS LE RÉACTEUR

Les assemblages sont chargés dans le cœur du réacteur au moment où celui-ci est à l'arrêt. Ils produiront, pendant une période de 4 à 5 ans, l'énergie nécessaire à la production d'électricité. Le cœur d'un réacteur de 900 MW est constitué de 157 assemblages de combustible, il en faut 193 pour un réacteur de 1300 MW et 205 pour un réacteur de 1450 MW.

LA GESTION DU COMBUSTIBLE USÉ

Après 3 à 4 cycles d'utilisation, les assemblages de combustibles usés sont déchargés du réacteur et entreposés un à deux ans dans la piscine de désactivation du bâtiment combustible de la centrale nucléaire. Ce délai permet la baisse de la radioactivité des assemblages et ainsi leur refroidissement, afin d'en faciliter le transport vers l'usine de traitement. Au moment de son déchargement du cœur du réacteur, la puissance résiduelle dégagée par un assemblage combustible est en effet de 2000 kW. Après son entreposage en piscine de refroidissement, cette puissance est inférieure à 10 kW. L'assemblage peut alors être transporté dans un emballage de protection adapté jusqu'à l'usine de traitement d'AREVA à La Hague.

POUR EN SAVOIR PLUS SUR LE FONCTIONNEMENT D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE, TÉLÉCHARGEZ LA NOTE D'INFORMATION "LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ D'ORIGINE NUCLÉAIRE" SUR www.edf.com



DES MESURES POUR GARANTIR DES TRANSPORTS SANS RISQUE

Les risques présentés par les transports du combustible nucléaire sont essentiellement liés à l'irradiation, à la contamination, au vol ou au détournement des matières nucléaires. Des mesures permettent de prévenir et de faire face à ces risques.

DES EMBALLAGES À TOUTE ÉPREUVE

Les emballages sont conçus en tenant compte de situations accidentelles connues. Ils doivent être d'autant plus robustes que la radioactivité contenue est importante. Les essais sont effectués dans des conditions extrêmes afin de tester leur résistance. On étudie notamment leur résistance aux chutes de grande hauteur, à la perforation, à l'incendie et à l'immersion. L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) contrôle la conformité de la conception des emballages, avec l'appui technique de l'Institut national de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN).

DES RÈGLES STRICTES SOUMISES AU CONTRÔLE DES POUVOIRS PUBLICS

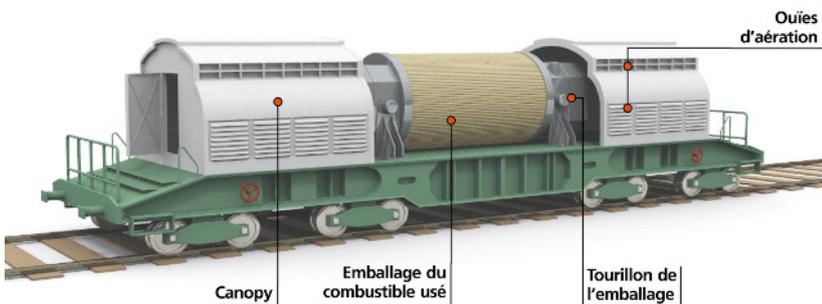
La fiabilité des transports repose sur le respect des règles prévues pour le transport des marchandises dangereuses. La conception de l'emballage de transport et la formation des personnels font partie de ces règles, dont le respect est soumis au contrôle des autorités.

DES POUVOIRS PUBLICS ORGANISÉS POUR GÉRER LES ÉVÈNEMENTS

Un dispositif spécifique existe pour gérer d'éventuels incidents ou accidents. Sa mise en œuvre est coordonnée par les pouvoirs publics et implique de nombreux acteurs aux compétences complémentaires, mobilisés en fonction de la nature de l'incident ou de l'accident dont :

- les sapeurs-pompiers (Cellules mobiles d'intervention radiologique des départements ou CMIR) ;
- les experts en colis de l'IRSN qui dispose d'un Centre technique de crise ;
- les experts en radioprotection (IRSN, CEA...);
- les experts médicaux locaux (centres hospitaliers...);
- etc.

Transport du combustible usé Wagon



POUR EN SAVOIR PLUS SUR LA GESTION DU COMBUSTIBLE USÉ, TÉLÉCHARGEZ LA NOTE D'INFORMATION « LA GESTION DU COMBUSTIBLE USÉ DES CENTRALES NUCLÉAIRES D'EDF » SUR LE SITE INTERNET energie.edf.com



TROISIÈME ÉTAPE : GÉRER LE COMBUSTIBLE USÉ

La stratégie d'EDF en matière de cycle du combustible, en accord avec l'Etat, est de pratiquer le traitement des combustibles usés et le recyclage du plutonium ainsi séparé sous forme de combustible MOX. EDF est responsable, devant la loi, du traitement et du devenir du combustible usé et des déchets radioactifs associés.

TRAITER LES COMBUSTIBLES USÉS ET LES DÉCHETS RADIOACTIFS

A l'usine de traitement d'AREVA de la Hague en Normandie, le combustible usé est entreposé durant une dizaine d'années en piscine afin que son niveau de radioactivité et sa température diminuent. Après cette période d'entreposage, les crayons de combustible usés sont cisailés en petits morceaux et dissous dans des solutions acides. Cette technique permet de séparer les déchets de haute activité à vie longue (produits de fission et éléments chimiques produits lors de la réaction nucléaire), de la matière valorisable composée de plutonium et d'uranium recyclable, soit 96% de combustible usé.

Dans l'attente du stockage définitif, les déchets radioactifs, issus du traitement du combustible usé, sont vitrifiés et entreposés dans des installations conçues à cet effet dans l'usine AREVA de La Hague, où ils poursuivent leur refroidissement et leur décroissance radioactive.

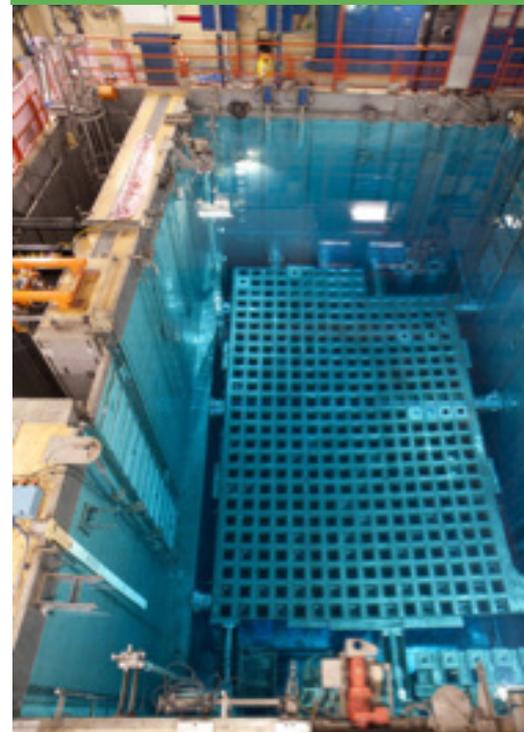
ZOOM : Vers un centre de stockage des déchets de haute activité

La loi du 28 juin 2006 définit le stockage souterrain à grande profondeur (500m) comme étant la solution de référence pour la gestion à long terme des déchets de haute activité et à vie longue (comme ceux provenant des assemblages combustibles usés). Cette même loi charge l'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) d'étudier la solution du stockage géologique. Pour cela, l'Andra mène des recherches depuis le début de l'année 2000 dans le laboratoire souterrain de Bure situé à la limite des départements de Meuse et Haute-Marne. La mise en service d'un centre de stockage est prévue en 2025, sous réserve de son autorisation par le gouvernement en 2015, après un débat public national et le vote d'une nouvelle loi par le parlement.

96 % du combustible usé est recyclable

Durant son utilisation dans le réacteur, l'uranium enrichi s'appauvrit en uranium 235 fissile et, de ce fait, l'uranium issu du traitement du combustible usé a une teneur moyenne en uranium 235 voisine de celle de l'uranium naturel. Pour pouvoir être de nouveau utilisé en réacteur, il est ré-enrichi et entre ainsi à nouveau dans le cycle du combustible.

Le ré-enrichissement d'une tonne d'uranium issu du traitement du combustible usé permet d'économiser 800 kilos d'uranium naturel.





LE CYCLE DU COMBUSTIBLE NUCLÉAIRE UTILISÉ DANS LES CENTRALES EDF



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

Siège social
22-30 avenue de Wagram - 75008 Paris

EDF SA au capital de 924 433 331 euros
552 081 317 RCC Paris