

MANATOUR

voir & savoir

BRENNILIS

**PETIT PRÉCIS À L'USAGE DES
COMMUNICANTS DE LA MAISON
DU LAC DE LA CENTRALE
NUCLÉAIRE DE BRENNILIS**



Réaliastion : Philippe MOTTAIS 2021

Relecture et mise en forme : Steven LE GUELLEC 2023

Ce livret, à destination des guides, a pour but d'apporter connaissances et aides dans le discours de visite de la scénographie de la Maison du Lac de Brennilis vers le grand-public. Vous y trouverez des informations essentielles ainsi que d'autres complémentaires. Ce discours est à adapter à chaque visiteur ou groupe de visiteurs.

Il est essentiel de connaître le(s) but(s) recherché(s) de ces visiteurs ainsi que leurs métiers ou leurs intérêts afin d'adapter au mieux les informations que vous allez partager.

Tout n'est pas à raconter et un choix des informations de la part du communicant doit être fait afin de coller au mieux aux attentes d'EDF et à celles des visiteurs.

Les points essentiels à développer lors du discours sur ce site sont ceux de la maîtrise d'EDF en matière de démantèlement, de sécurisation technologique, environnementale et humaine, puis la transparence de notre client dans l'information au grand-public.

Il paraît nécessaire de rappeler aussi les possibilités de visite de l'enceinte bloc réacteur, de l'extérieur du site et de la découverte des métiers liés.

L'accompagnement doit être rapide mais suffisamment explicite pour que les visiteurs se sentent rassurés par ce démantèlement.

Enfin, les informations complémentaires que vous trouverez dans ce livret ne sont là que pour vous aider à répondre à des questions plus précises ou orientées du public.

Avec professionnalisme, exercez votre métier de partage avec joie, plaisir et enthousiasme car cela est immédiatement ressenti par nos visiteurs.



- Présentation de l'intervenant ;
- Consignation du nombre de visiteurs et de leurs provenances ;
- Rappel des règles sanitaires et de sécurités ;
- Rappel du droit de la prise photographique de la scénographie ;
- La visite peut être effectuée seul ou avec l'intervenant (totale ou partielle, au choix des visiteurs).

Début de la visite

La Maison du Lac est un centre d'interprétation scénographique mis en place par EDF après la fermeture du restaurant d'entreprise en 2007. Elle est particulièrement dédiée à la centrale nucléaire de Brennilis, à son histoire, à son fonctionnement et à son démantèlement. Nous y aborderons des sujets comme le mix-énergétique, l'histoire de la centrale, son fonctionnement, son démantèlement et la gestion des déchets, la surveillance de l'environnement et les fonctionnements des divers outils de production d'énergie. Après la présentation de la centrale, je vous propose de vous accompagner sur l'ensemble de la visite ou sur l'un, voire plusieurs, des sujets qui vous intéressent particulièrement.

Notre centrale est située sur un site exceptionnel car vous êtes au milieu du Parc Naturel Régional d'Armorique (PNRA). Il est le tout premier à être créé et le biotope y est particulièrement protégé et surveillé. Vous êtes également sur un site industriel particulier comme nous le verrons tout à l'heure car le site comptait deux centrales électriques et un barrage alimentant une centrale hydroélectrique. Ce lieu historique montre à lui seul l'histoire industrielle et énergétique bretonne depuis le moyen-âge.

Le lac Saint-Michel, naturel à l'origine, date de la création de la chaîne montagneuse du massif armoricain il y a 330 millions d'années, puis par accumulation de déchets organiques et végétaux, celui-ci s'est transformé en tourbière et marais. En 1937, il est remis à l'état de lac artificiel par le barrage de Nestavel qui doit son nom au petit village situé à son côté.

Informations complémentaires :

Le P.N.R.A. créé en 1969 fait 1 250 km². Il est exceptionnel par sa flore, sa faune (castors d'Europe) et ses habitations en schiste.

La centrale a été construite à l'est du barrage de Nestavel, le long de la rivière Ellez.

Bordée sur 3 cotés par des monts de 320 à 385 mètres d'altitude, La cuvette du lac, quant à elle, se situe à 220 mètres.

Le marécage de l'Ellez (Yeun Elez) couvre 500 hectares, tandis que le lac lui en recouvre partiellement 450 hectares, avec une saisonnalité marquée.

Le lac est alimenté dans sa partie amont par l'Ellez, le Roudouhir et le Sterred.



Communication sur la photographie aérienne du site actuel
(présentation du bâti par pointage)

Photographie aérienne :

Nous sommes donc ici à la Maison du Lac.

- Vous pouvez voir le barrage hydroélectrique de Nestavel qui tient son nom du petit village situé à son côté ainsi que son déversoir ;
- L'enceinte Réacteur (ER), dans lequel il reste à démanteler le Bloc Réacteur (BR) et ses équipements ainsi que les matériels nécessaires au fonctionnement ou au démantèlement de l'installation (manutention, ventilation, contrôle et surveillance) ;
- Le bâtiment extérieur (BER), accolé à l'ER mesurant actuellement l'air extrait de l'enceinte du réacteur ainsi que, plus loin, sa cheminée de rejet d'air ;
- L'installation de Découplage et de Transit (IDT) destinée à entreposer temporairement les colis de déchets en attente d'expédition. L'IDT comporte un bâtiment réaménagé dans l'ancienne Installation de Production d'électricité (IPE) et une zone extérieure destinée à l'entreposage des colis TFA ;
- Le local de contrôle des transports (local ADR) et chargements des transports routiers ;
- Le poste de contrôle principal (PCP, qui assure également les fonctions de poste de commandement avancé PCA) ;
- L'aire à déchets conventionnels ;
- Le réservoir collecteur d'eau pluvial et son poste de prélèvement ;
- Les anciens bâtiments de traitement des effluents transformés en stockage des déchets conventionnels ;
- Le parc des entreprises extérieures travaillant sur la centrale ;
- Les locaux d'EDF pour la gestion du démantèlement ;
- Les locaux d'EDF pour la gestion des turbines gaz et l'infirmerie ;
- Les 3 turbines à combustion ;
- Les bâtiments rétrocédés à la commune de Brennilis pour un franc symbolique afin que celle-ci évite une trop forte perte

Informations complémentaires :

Le lac n'a pas été créé pour garantir le refroidissement de la centrale nucléaire, mais en 1937 pour desservir le réservoir de la centrale hydroélectrique de Saint-Herbot située sur la rivière Ellez. Cependant, il est un élément essentiel en 1962 dans le choix du lieu de l'installation de la centrale de Brennilis.

L'installation de Découplage et de Transit : les déchets y sont conditionnés et conteneurisés.

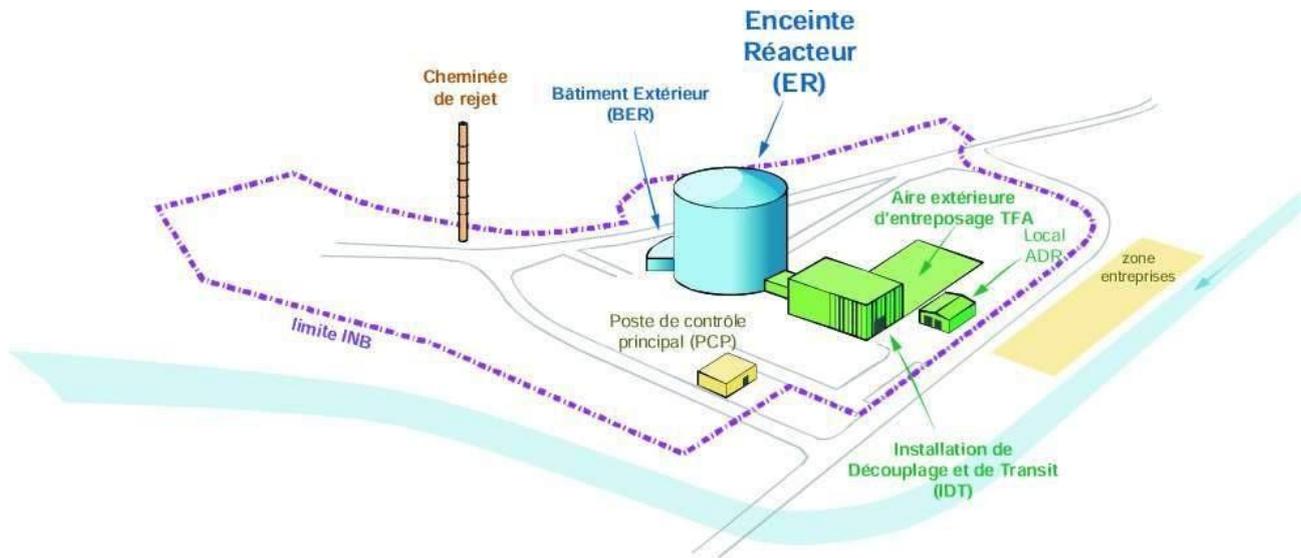
Le local de contrôle des transports (local ADR) : La radioactivité des camions est contrôlée à l'entrée du site par deux grands portiques. Ces camions sont chargés des conteneurs et sarcophages de déchets et entièrement séchés. Puis la radioactivité des camions chargés est remesurée à la sortie afin de s'assurer qu'il n'y ait aucune fuite de rayonnements ionisants. Les camions sont séchés car l'eau pourrait influencer sur les mesures de radioactivité, l'eau diminuant les rayonnements en question.

Le réservoir collecteur récupère les eaux pluviales reçues par le site. Ces eaux sont contrôlées afin de s'assurer d'aucune éventuelle pollution.

15 à 20 salariés EDF + 60 à 80 personnes travaillent au quotidien sur le site. Les équipes assurent la bonne exploitation du site en toute sûreté et mènent à bien les chantiers préparatoires au démantèlement complet (sécurisation, désamiantage, etc.).

d'emplois sur le bassin ainsi qu'une baisse importante de revenus fiscaux. Une entreprise métallurgique (soudure, brasure et découpe), une entreprise de sablage des métaux et une entreprise de salaison qui a déménagée il y a 3 ans ;

- Les bassins de réserve d'eau de lutte incendie ;
- Un hélicoptère pour le transport d'éventuel blessés in situ et sur les communes environnantes.



Les bâtiments restant à démanteler



Communication sur la maquette du site lors du fonctionnement de la centrale

(Demander leurs métiers ou niveau de connaissance à chaque visiteur et adapter le discours suivant leurs compétences probables.)

Ici nous pouvons voir le site de la centrale lorsque celle-ci était en fonctionnement. Cette centrale nucléaire était l'unique prototype de la filière, dite réacteur à eau lourde, construite par la France. Cette filière fut testée et comparée à une autre filière dite : réacteur à eau pressurisée. Ce fut la filière à eau pressurisée qui fut sélectionnée par la France. Nous en verrons les raisons plus tard dans la visite. Nous aborderons également les principes de l'eau lourde et le fonctionnement de la centrale. Pour l'instant regardons ses installations.

Descriptions :

- L'enceinte du réacteur nucléaire et celui-ci (ER) puis son local de contrôle Sulzer (BER) mesurant les fluides sortants de celle-ci ainsi que sa cheminée de rejet d'air (1) ;
- Ses échangeurs thermiques et son pont grue tournant de 45 tonnes (2) ;
- Ses pompes de circulation de fluides et ses réservoirs de fluides ;
- Installation de Production d'Énergie (IPE) : le local de la turbine et de l'alternateur produisant l'énergie distribuée sur le réseau.
- ;
- L'espace de production de vapeur (3) ;
- Les anciens bâtiments de traitement des effluents (STE) (4) ;
- Les locaux d'EDF pour le contrôle de la centrale (5) ;
- La centrale de gaz carbonique (6) ;
- Le bassin d'accumulation ou de refroidissement ;
- Le bâtiment des auxiliaires tel que les groupes électrogènes de secours, pompes de circulation des fluides, vannes et autres matériels servant au fonctionnement de la centrale ;
- Les locaux des combustibles irradiés neufs et usés (BCI) (7) ;

Informations complémentaires :

Raisons du choix du site :

- La forte croissance économique de la région ;
- Lieu non industrialisé ;
- Ressource en eau pure grâce à la tourbe qui filtre les métaux lourds et substances chimiques / organiques ;
- Peu d'agglomérations d'importances et peu d'agriculture ;
- Sous-sol en granit à forte résistance pour soutenir le poids de l'enceinte.

Descriptif :

(1) La cheminée de rejet d'air fait partie du mécanisme de mise en dépression atmosphérique de l'enceinte. Cette dépression atmosphérique sécurise le périmètre intérieur de l'enceinte. En cas de soucis d'étanchéité, l'air extérieur se précipiterait dans l'enceinte empêchant ainsi celui de l'intérieur de s'échapper. Les fluides sont l'eau, le gaz, l'eau lourde et l'air.

(2) Les échangeurs thermiques constitués de 16 bouteilles faisaient 20 mètres de haut et pesaient 37 tonnes.

(3) Le gaz CO₂ caloporteur (transportant la chaleur) transformait l'eau en vapeur.

(4) Fluides sortant de la centrale.

(5) Bureaux et contrôle de la centrale.

(6) Stockage et distribution du gaz carbonique.

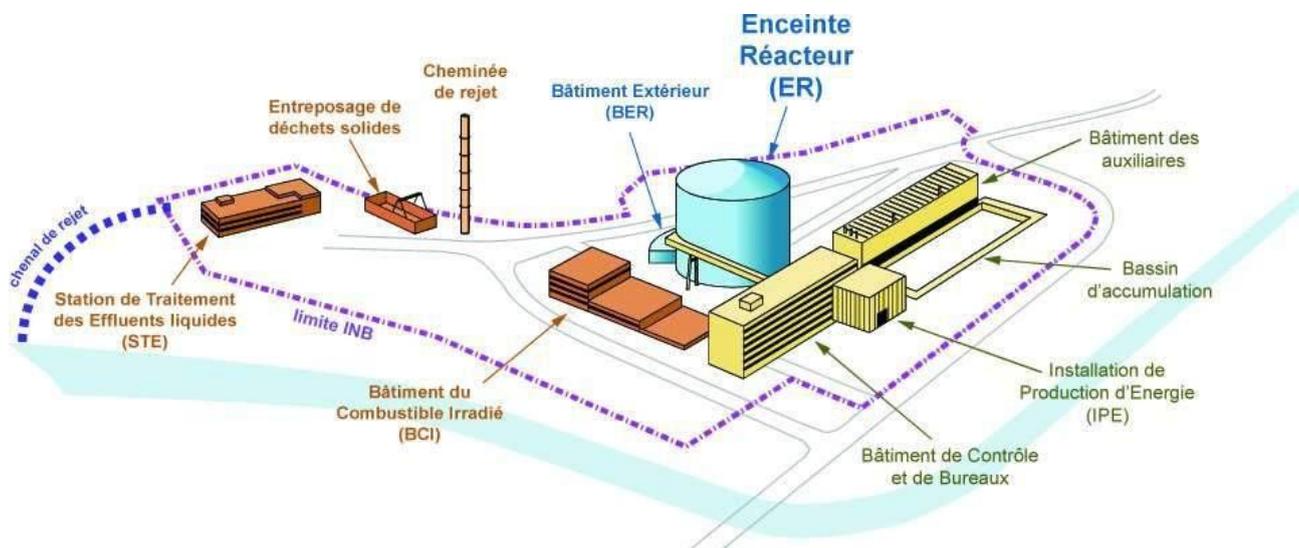
(7) Les combustibles d'uranium naturel se présentent sous forme

- Les voies de chemin de fer (8) ;
- Une ancienne rotonde militaire (1937 à 1939) affectée à la surveillance du barrage contre d'éventuels attentats (9).

de chapelets de saucisses.

(8) Les routes n'étant pas prévues pour une grande circulation, les matériaux étaient transportés par convois ferroviaires.

(9) 6 soldats étaient affectés entre 1937 et 1939 à la surveillance du barrage de Nestavel contre d'éventuels attentats par d'anciens propriétaires expulsés de leurs tourbières. Après la guerre, cette rotonde armée de mitrailleuses fut transformée en observatoire avant sa désaffectation.



Les bâtiments de la centrale lors de son exploitation



Vidéo sur la visite de l'enceinte (présentation par pointage)

Entre maquette et vidéo.

C'est quoi l'eau lourde ?

Eau lourde (D₂O) : Les physiciens appellent eau lourde, une eau dans laquelle les atomes d'hydrogène de l'eau sont remplacés par des atomes d'un de ces isotopes : le deutérium. Une molécule d'eau sur environ 3 200 est en réalité une molécule d'eau lourde. Les molécules d'eau lourde naturellement présentes dans l'eau peuvent être séparées de l'eau légère par distillation ou électrolyse. Le deutérium est deux fois plus lourd que l'hydrogène. Son noyau, en effet, comporte un neutron en plus du proton présent dans les atomes d'hydrogène.

Le réacteur fonctionne comment ?

Celui-ci fonctionne à l'uranium naturel qui en est le combustible. La production d'électricité dans la centrale nucléaire est basée sur la fission des atomes d'uranium qui produit un dégagement permanent d'énergie. Les neutrons libérés lors de la fission doivent pouvoir aller frapper d'autres noyaux fissiles par réaction en chaîne.

Mais les neutrons issus de fissions, se déplacent à grande vitesse (20 000 km/s). Ils passent alors trop vite à proximité des atomes d'uranium et les réactions de fission sont difficiles à obtenir. Une des méthodes pour augmenter les chances de rencontres entre neutrons et noyaux fissiles est de ralentir leurs vitesses. L'eau lourde, appelée modérateur, permet de modérer considérablement leurs vitesses jusqu'à 2 000 km/s. Ainsi, les neutrons peuvent mieux réagir avec l'uranium.

L'eau lourde est contenue dans un réservoir cylindrique nommé calandre. Cette calandre est traversée par des canaux remplis de gaz carbonique appelé caloporteur et abrite des tubes de force.

Commencer et commenter la vidéo à partir de cet instant de la présentation.

Ici nous allons rentrer dans la centrale nucléaire. Elle est le premier et seul prototype de centrale nucléaire à eau lourde en France. Le réacteur à eau lourde utilise de l'uranium naturel (légèrement enrichi) comme combustible, de l'eau lourde (D₂O) comme modérateur de fission des atomes et du gaz carbonique (CO₂) comme caloporteur.

Informations complémentaires :

Les éléments combustibles se présentent sous forme de chapelets de grosses saucisses. 2 à 3 éléments étaient remplacés chaque jour. Un élément combustible dure de 4 à 5 mois.

Le gaz carbonique était porté à 475°C. Les conduites sont en zircaloy, matériaux qui laissent passer les neutrons.

Fin novembre 1948, un premier gisement d'uranium est découvert dans le Limousin. Ce gisement entre en exploitation le 10 juillet 1950. Il est suivi de nombreux autres en Vendée (1951), en Bretagne, en Auvergne (1954) et dans le Languedoc (1957), exploités par le CEA ou des acteurs privés. En dix ans, la France devient le premier producteur européen d'uranium. Un total de 217 mines seront exploitées jusqu'en 2001. La France a décidé de conserver par précaution ces stocks.

Ici nous pouvons voir la face est de chargement et déchargement horizontal du combustible puis sa face ouest, également de chargement et de déchargement du combustible. A noter que c'est la seule centrale à chargement horizontal.

Puis le réseau de gaz CO₂ caloporteur en jaune. Ce gaz est le transporteur de chaleur vers le circuit secondaire.

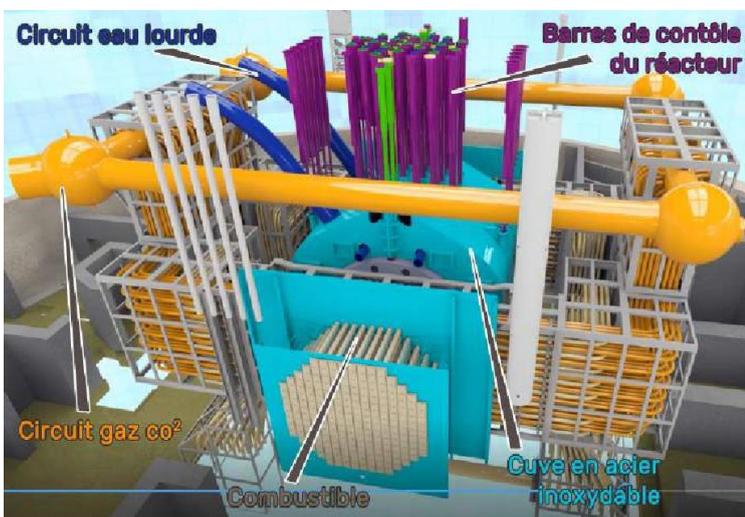
Le circuit d'eau lourde en bleu.

Les barres de contrôle (bore ou cadmium), introduites par le dessus de la cuve dans le cœur du réacteur, permettent de régler la puissance de celui-ci. Elles ont en effet la propriété de « manger » les neutrons. L'immersion totale des barres dans le cœur du réacteur permet ainsi de stopper en deux secondes la réaction en chaîne. Le fait de les extraire augmente au fur et à mesure la puissance de la centrale.

Les tubes de forces renferment chacun neuf grappes de combustible. Le cœur du réacteur est constitué d'une cuve en acier inoxydable contenant le combustible, l'eau lourde et le gaz CO₂ du circuit primaire.

L'ensemble est enfermé dans une enceinte en béton étanche qui assure le confinement de la radioactivité.

Le circuit de vapeur alimentant la turbine est refroidi par un circuit d'eau froide, lui-même refroidi par un bassin d'eau extérieur d'accumulation.





Communication sur le « mix énergétique ».

Le « mix énergétique » qu'est-ce que c'est ?

Le mix énergétique représente l'ensemble des systèmes de production d'énergie que EDF a mis en place pour satisfaire la demande de ses clients en besoin électrique et ceci en toute circonstance.

Pour satisfaire à la demande en électricité, chaque pays possède ses propres moyens de productions. En France, Le nucléaire représente une grande part de notre production. Soit 78% par rapport à la totalité. Les énergies renouvelables représentent 11% de sa production (8% vient de l'hydraulique). 9% est fourni par des centrales de ce que l'on appelle des cycles combinés gaz qui sont des turbines à combustion telle que celles sur la vue aérienne du site et enfin des groupes de cogénération. Puis 1% provient de groupes électrogènes. Les 1% restant sont assurés par une des trois dernières centrales au charbon de France, dont celle qui se situe entre Nantes et Saint-Nazaire, à Cordemais. Ces centrales à charbon devaient fermer en 2022 dans le cadre de la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre, mais ont dû être sollicitées en 2023 en raison de la géopolitique énergétique actuelle. Sans oublier certaines centrales à combustion qui fonctionnent à la poudre de charbon.

Comme vous devez toujours avoir autant de production que de demande, EDF a mis et met en place ces divers moyens de production afin de répondre à toutes les circonstances. Sinon, il y aurait des surtensions (trop) ou des black-out (pas assez) et, en plus, une partie de la France ne serait pas ou partiellement alimentée dans des durées limitées.

Et en somme, avec les énergies nucléaires, renouvelables et thermiques, EDF dispose d'un parc de production performant, diversifié et complémentaire pour une production totale décarbonée à 90%. La France, via EDF, est le pays le plus décarboné du monde en ce qui concerne la production d'énergie électrique.

Informations complémentaires :

Le nucléaire produit beaucoup et sans émission de CO₂, tout en générant des déchets sur le long terme, mais il ne réagit pas vite. Le charbon produit vite mais pollue beaucoup, etc...

18 centrales nucléaires
436 centrales hydrauliques
12 centrales thermiques
99 parcs éoliens et solaires

Puissance totale EDF en 2014 :
98,9 Gw, soit 98,9 millions de
Kilowatts

Production d'électricité en 2020 :
500,1 Twh, soit 500 milliards de
Kilowatt heures.

EDF est la seule entreprise en France à avoir l'autorisation de gérer les centrales nucléaires.

A titre de rappel, l'électricité ne se stocke pas. Il faut constamment adapter les capacités de production à la consommation pour éviter les coupures.



Communication sur la centrale.

Unique centrale de la filière eau lourde en France, le fait d'avoir retiré les combustibles et l'ensemble des fluides n'a laissé dans l'enceinte que 0,1% de la radioactivité par rapport aux mesures prises lors de son fonctionnement. Ceci justifie l'élimination de l'essentiel du risque nucléaire. Ces opérations de déchargement des combustibles et fluides ont été terminées en décembre 1992.

Communication sur le Barrage.

Ce barrage voûte construit entre le coteau de Nestavel et la butte de Forhan. Il fait 360m de long et 13m de haut. Il est constitué sur une partie de sa longueur d'un mur droit et sur l'autre partie de 13 voûtes accolées. L'ensemble s'appuie sur des contreforts ancrés dans le granit (omniprésent ici comme presque partout en Bretagne).

Lors de la construction du barrage en 1937, le lac a recouvert 450 hectares d'un marais et une tourbière de 500 hectares. Celui-ci a une contenance de 9 à 13 millions de m³ d'eau. Il alimente la rivière Ellez qui alimente le réservoir de Saint-Herbot et sa centrale hydraulique.

Communication sur les turbines à combustion.

Ces turbines à combustible font parties intégrantes du mix énergétique d'EDF. Elles sont gérées par le CETAC (Centre d'Exploitation des Turbines A Combustion) à Vaires-Sur-Marne, qui est en charge d'anticiper les besoins et les défaillances du réseau, la maintenance étant faite sur place. Ces centrales contribuent à l'approvisionnement en électricité en temps et en heure afin d'ajuster la production aux fluctuations de la demande. Il y a 6 sites en France dont 1 à Brennilis et 1 à Dirinon. Notre centrale de Brennilis produit 285 MW, soit l'équivalent de la consommation d'une ville de 263 000 habitants. Ces TAC ne fonctionnent qu'une certaines d'heures par an car elles ne sont là qu'en cas de défaillance des autres moyens de production ou de difficultés sur le réseau lors de pointes de consommation.

Le meilleur exemple est l'hiver lorsqu'à 7h ou à 19h chaque consommateur va allumer son chauffage. Ces centrales vont compenser la hausse de consommation d'énergie et ceci grâce à un démarrage en une demi-heure lorsque le nucléaire met entre 24h à 48h pour augmenter ou diminuer sa puissance. Elles assurent leurs missions de soutien au réseau à tout moment et immédiatement. Sans leurs soutiens certains consommateurs seraient mis dans un black-out pendant des heures en hivers. Ce sont les secouristes d'EDF.

Informations complémentaires :

Il existe d'autres centrales à eau lourde au Canada, en Inde et au Pakistan.

Les combustibles et les fluides ont été évacués vers des centres d'entreposage du CEA (Cadarache).

Ce barrage est construit en voûtes car la profondeur maximum de 12 mètres n'exerce qu'une faible pression. Donc, il n'était pas nécessaire de le construire sous une forme pyramidale.

Le lac était asséché tous les 10 ans jusqu'en 1987. A partir de cette date les vérifications se font par un robot et le lac n'a plus de raison d'être asséché.

L'évacuateur des eaux a un débit max. de 70 m³/secondes. Le débit étant réglé par deux conduites métalliques avec vannes papillon et deux passes rives disposant l'une d'une vanne à chenilles et l'autre d'un dispositif de type poteau Valet.

Il n'y a aucune construction solide dans le lac si ce n'est trois bâtiments à usage agricole. Une fois par an les ondulations du barrage sont mesurées à partir de bornes géodésiques sur site par des agents EDF.

Les TAC sont situées en Île-de-France, où les besoins en production de pointe sont les plus importants et en Bretagne, où les moyens de production sont moindres. L'ensemble des TAC de France produit 1 850 MW, soit l'équivalent de la consommation d'une ville de 2 millions d'habitants.

Dates de mise en service et puissance des TAC de Brennilis :
Turbine 1 : 85 MW -1980
Turbine 2 : 85 MW-1981
Turbine 3 : 125 MW-1996
Puissance de Brennilis et Dirinon : 465 MW.

6 personnes sont en charge 24h/24 ET 7j/7 du pilotage des TAC en France.
Baisse des températures de 1°C : 2 100 MW de consommation en plus.



Communication sur l'enceinte, son réacteur et le lac Saint-Michel.

Vu du ciel, l'enceinte de la centrale a un diamètre de 46 mètres et une hauteur de 56 mètres, soit un immeuble de 17 étages.

Le lac n'a pas été créé pour la centrale nucléaire mais cette dernière a été installée ici notamment en raison de la présence de celui-ci. Son eau servait au refroidissement de la vapeur du circuit secondaire au niveau du condenseur.

Informations complémentaires :

Le bloc réacteur fait 13,5 m de haut, 19 m de large, 17 m de profondeur. La cuve est traversée de part en part par 216 canaux pouvant chacun accueillir 9 éléments combustibles, soit 1944 éléments en tout. La cuve fait 4,5m de haut et 5,5 m de long pour un diamètre de 4,8 m. Elle pèse 220 tonnes pleine et 86 tonnes à vide.

La tourbe confère à l'eau du lac une très grande pureté par sa filtration naturelle des agents chimiques et organiques ainsi que des métaux lourds.

Nous pouvons voir évoluer dessus des pêcheurs, des plaisanciers, des nageurs, voir des parapentes. Une faune et une flore exceptionnelle y cohabitent. Lors de grands vents, le lac peut se couvrir d'une forte houle. Sa couleur ambrée vient des particules de tourbe flottantes entre deux eaux.



Communication sur l'histoire du site industriel

Ici nous abordons l'histoire de ce site à travers les âges. A la fin du XV^e siècle, les tourbières sont exploitées par les locaux pour une famille noble, les seigneurs de Botmeur, dans le cadre de chauffage, mais aussi pour les industries de l'époque telles que les forges, les maréchalleries, les poteries, les briqueteries et tuileries. C'est aussi un engrais naturel pour cette terre pauvre en matières organiques.

A la Révolution, et suite aux réquisitions des terres nobles par la République, les tourbières passent sous propriété de l'état. Elles seront revendues par lots aux habitants entre 1860 et 1891. Bonne raison pour en retirer des impôts alors que, auparavant, les exploitants agricoles locaux se procuraient cette tourbe gratuitement.

En 1880, les propriétaires des tourbières revendaient la tourbe aux pays frontaliers comme le Léon, le Trégor et la Cornouaille.

En 1923 la société anonyme des forces motrices des Monts d'Arrée, nouvellement créée un an auparavant, lance le programme de construction d'un réservoir d'eau et d'une centrale hydraulique à Saint-Herbot sur la rivière Ellez, ceci afin d'électrifier la Bretagne intérieure.

Puis en 1937, la construction du barrage de Nestavel est entreprise dans le but d'alimenter à volonté, avec régularité et débit constant, le réservoir de Saint-Herbot. Son élaboration dura un an et trois mois, recréant ainsi le lac. L'ensemble s'appuie sur des contreforts ancrés dans le granit.

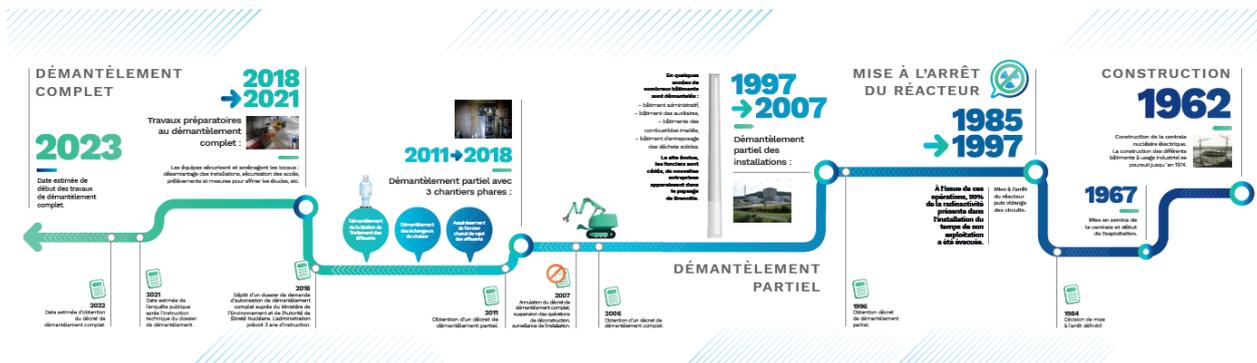
Informations complémentaires :

Elle veut dire en français « chemin du palais ».

La tourbe se forme très lentement, un millimètre par an en moyenne.

De nombreux conflits explosent entre la société des forces motrices et les propriétaires des tourbières lors de la vente expropriatoire des terrains et ceci à cause du prix de rachat proposé. Puis de nouveaux conflits interviennent lors de la construction du barrage. Les journaliers n'étant pas payés lorsque les camions ne pouvaient pas livrer le béton. Les routes étant juste empierrées et les ponts en bois, beaucoup de camions s'embourbaient ou tombaient dans les ruisseaux.

Sur le déversoir du barrage se situe une vanne que l'on appelle le « débit réservé ». Le débit réservé c'est le débit qui doit couler dans le cours d'eau de toute façon afin de préserver la faune et la flore. EDF, comme tous les exploitants, siègent à la « commission locale de l'eau » qui est une instance choisissant le débit réservé et répartissant la ressource afin que tout le monde soit satisfait par la présence du barrage.



Communication sur L'histoire du site industriel

Dans les années 1930, la découverte de la radioactivité artificielle par des scientifiques français place le pays en tête dans le domaine, mais la Seconde Guerre mondiale met un terme aux ambitions nationales. Afin de réindustrialiser rapidement la France après 1945, le Général de Gaulle crée le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) dont le but est la recherche et l'industrialisation sur l'énergie nucléaire. Il faut trouver une solution pour combler le déficit énergétique français. En 1955, le CEA met en service à Marcoule un premier réacteur nucléaire graphite gaz utilisant l'uranium naturel comme combustible et d'une puissance très modeste de 2 MW. En tout, trois réacteurs à graphite gaz et un à eau pressurisée seront construits en même temps que notre centrale de Brennilis.

En 1962, la construction de la centrale nucléaire expérimentale à eau lourde de Brennilis, premier et seul exemplaire de cette filière en France, commence. Sa construction dure jusqu'en 1966. Cependant la construction des différents bâtiments à usage industriel et social sur site se poursuit jusqu'en 1974 comme par exemple la Maison du Lac qui est l'ancien restaurant EDF pour les employés de la centrale. Si la création de la centrale est l'œuvre du CEA l'exploitation est conjointe avec EDF.

En 1984, il est décidé d'arrêter définitivement le fonctionnement de la centrale et le réacteur est mis en arrêt.

De 1985 à 1997, les combustibles sont retirés et les vidanges des quatre circuits de fluides (eau lourde, gaz CO₂, eau/vapeur, eau de refroidissement) sont effectuées ne laissant au sein de l'enceinte que 0,1 % de la radioactivité de la période de son activité.

En 1996, c'est l'obtention du premier décret de démantèlement partiel.

De 1997 à 2007, de nombreux bâtiments devenus obsolètes du fait de l'arrêt de la centrale sont démantelés :

- Le bâtiment administratif ;
- Le bâtiment des auxiliaires ;
- Les bâtiments des combustibles irradiés ;
- Le bâtiment d'entreposage des déchets solides.

Informations complémentaires :

Les premiers réacteurs nucléaires apparaissent en France à la fin des années 50. Mais c'est au début des années 70, dans le contexte du premier choc pétrolier, qu'un programme de grande ampleur est lancé. C'est le « plan Messmer », qui vise à généraliser le recours à l'énergie nucléaire en France et prévoit la construction de trois réacteurs par an.

Le choix de la filière à eau pressurisée est fait car une centrale à eau lourde produit pour les mêmes dimensions structurelles de 1/3 à 2 fois moins d'énergie. Il aurait fallu construire deux fois plus de centrales pour disposer de la même puissance de production d'énergie avec un autre modèle. L'uranium enrichi des centrales REP est plus cher que l'uranium naturel mais l'eau lourde est beaucoup plus chère que l'eau H₂O.

L'enceinte de la centrale est construite en 45 jours. Les murs sont construits en béton précontraint de 65 cm d'épaisseur, et armés de milliers de barres d'acier verticales et horizontales. Le béton de l'enceinte est coulé en continu jours et nuits, entre des banches réglables en hauteur, afin d'éviter tout joints ou raccords, qui sont autant de points de fragilité.

Le décret de 2006 assurant le démantèlement complet est annulé pour cause de non-respect de la directive européenne requérant une enquête d'information publique. Cette directive n'était pas transcrite en droit français à l'époque.

Le site évolue et de nouvelles entreprises apparaissent dans le paysage de Brennilis.

En 2006, EDF obtient le décret de démantèlement complet. Cependant en 2007, le décret est annulé et c'est donc la suspension des opérations de démantèlement.

De 2011 à 2018, obtention d'un nouveau décret de démantèlement partiel sur trois chantiers d'importances :

- Le démantèlement de la station de traitement des effluents ;
- Le démantèlement des échangeurs de chaleur ;
- L'assainissement de l'ancien chenal de rejet des effluents.

En 2018, un nouveau dossier de demande d'autorisation de démantèlement complet auprès du Ministère de l'Environnement et de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) a été déposé. Après trois ans d'instruction, l'ASN rend un avis favorable en juillet 2021 ouvrant la voie à la tenue d'une enquête publique. Parce qu'un démantèlement n'est pas que la déconstruction d'une enceinte, il faut aussi prévoir et aménager les lieux de stockage, les transports, les routes, les voies ferrées, les outils, La gestion des déchets et les process précis, détaillés et sécurisés.

La France, par le biais d'EDF, est le seul pays au monde à démanteler ces centrales et donc toutes les procédures et les compétences technologiques, écolo- giques, sécuritaires et réglementaires ont été et sont élaborées par nos ingénieurs et confirmées par les organismes de contrôles. Cela permettra dans le futur de démanteler les autres centrales plus rapidement et de vendre nos compétences à l'étranger pour leurs propres démantèlements.

De 2018 à 2021, les travaux préparatoires au démantèlement complet commencent. Les équipes sécurisent et aménagent les locaux (désamiantage, sécurisations des accès, prélèvements et mesures pour affiner les études, etc.).

Après l'instruction technique du dossier de démantèlement, l'enquête publique s'est tenue du 15 novembre 2021 au 3 janvier 2022. Une enquête publique sert à connaître et percevoir les opinions citoyennes.

EDF espère obtenir le décret de démantèlement complet pour 2022.

Le début des travaux de démantèlement complet devrait donc débuter en 2023.

Montrer la taille des personnages par rapport aux échangeurs.

Station de traitement des effluents :

- > Travaux préliminaires ;
- > Pose des structures de confinement sur chantier préparé ;
- > Démantèlement sous confinement du bâtiment.

Échangeur de chaleur :

- > 3 ans d'étude ;
- > 4 années de travaux ;
- > 27 intervenants ;
- > 1 300 tonnes de matériaux traités ;
- > 16 bouteilles découpées en 48 tronçons et 32 bols.

Chenal de rejet :

- > Déboisement ;
- > Excavation des terres ;
- > Validation de l'assainissement par l'Autorité de Sûreté Nucléaire ;
- > Création d'une mare biologique et d'une prairie humide

Exemple de prélèvement et de mesures :

Une perceuse spéciale (brevet unique au monde), sous confinement, prélève et analyse millimètre par millimètre les résidus radioactifs présents dans le béton de l'intérieur de l'enceinte et dans l'acier de la cuve, ceci afin de connaître la profondeur de la pénétration de l'ionisation. Le béton sera gratté en profondeur jusqu'à la limite de la radioactivité naturelle, et même un peu au-delà.

En 2001, EDF s'est décidée à lancer les démantèlements, avant de perdre « la mémoire de l'installation », selon Thierry Charles, directeur adjoint à l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), mais également pour « ne pas léguer le problème aux générations futures » et acquérir les compétences et l'expérience sur ce type d'opérations qui représentent désormais un marché de prestations importantes, la France étant le seul pays au monde à démanteler ses centrales.



Cette maquette présente la centrale lors de son exploitation. Il est possible d'enlever les bâtiments qui ont déjà été supprimés ainsi que les parties démantelées à l'intérieur de l'enceinte. (réservé aux enfants)

Un petit rappel sur la centrale :

Il qu'il s'agit d'un prototype unique en France. Cette filière a été abandonnée au profit de la filière « eau pressurisée » pour des choix dus essentiellement à la capacité plus importante de production d'énergie de ces dernières. Pour le même volume structurel, les centrales « eau pressurisée » sont plus puissantes.

- 18 ans de fonctionnement ;
- Construction de 1962 à 1966 et exploitation de 1967 à 1985 ;
- 300 agents travaillant sur site 24h/24 et 7j/7 ;
- Puissance électrique de 70 Mw pour une production de 6 millions de Mwh ;
- Modérateur : eau lourde ;
- Caloporteur : gaz carbonique ;
- Enceinte en béton précontraint.

Je vous rappelle aussi la puissance des trois turbines à combustion de 295 Mw au regard des 70 Mw de notre centrale. Il faut bien comprendre que les époques de réalisation ne sont pas les mêmes et que l'une fonctionnait en continu et que les autres ne fonctionnent qu'une centaine d'heures par an, que l'une exigeait le travail de 300 personnes et que les 3 autres seulement d'une vingtaine de personnes.

Informations complémentaires :

Les nouvelles centrales nucléaires française produisent chacune aux alentours de 900 à 1 450 Mw.

EDF gère un parc de 56 réacteurs dans dix-huit centrales nucléaires en France et 15 en Grande-Bretagne. Cette entreprise est le plus important producteur mondial d'électricité nucléaire.

Orano et ses filiales Cogema, Framatome ANP, Technicatome gèrent l'intégralité des étapes du cycle du combustible nucléaire.

Plusieurs filières de réacteurs nucléaires ont été successivement développées :

Neuf réacteurs de la filière uranium naturel graphite gaz (UNGG), construits à Marcoule, Chinon, Bugey et Saint-Laurent-des-Eaux, aujourd'hui déclassés ; Un réacteur à eau lourde (HWGCR) construit à Brennilis, en phase de démantèlement ;

Deux réacteurs rapides refroidis au sodium (RNR-Na) : le réacteur expérimental Phénix à Marcoule et le prototype Superphénix à Creys-Malville, en cours de démantèlement ;

Cinquante-neuf réacteurs à eau pressurisée (REP) : un en démantèlement à la centrale nucléaire de Chooz, deux définitivement arrêtés à la centrale nucléaire de Fessenheim et cinquante-six actuellement en activité ;

Un nouveau réacteur à eau pressurisée de type EPR à la centrale nucléaire de Flamanville.



A partir d'ici vous allez rentrer virtuellement dans l'enceinte réacteur. Les visiteurs comme les travailleurs portent une tenue spécifique pour entrer à l'intérieur de l'enceinte (un casque, une paire de lunettes, une combinaison en coton, des gants, des chaussettes, des chaussures et un dosimètre). Le dosimètre sert à mesurer la dose de radioactivité du rayonnement Gamma dans une zone définie.

Il est possible de visiter l'enceinte sur réservation. Lors des visites de l'enceinte, personne n'est exposé à la radioactivité résiduelle du réacteur. Les personnes intervenantes en zone nucléaire sont formées et protégées pour réaliser leurs missions.

La centrale de Brennilis n'a aucun impact sur l'environnement en termes de radioactivité. Les contrôles permanents permettent de l'affirmer (Cf. rapport annuel d'information du public).

Communication sur la radioactivité

La radioactivité est un ensemble de rayons ionisants fait de particules ou d'ondes. Elle existe sous forme naturelle : cosmique (soleil), tellurique (des roches comme le granite, dans l'eau et l'alimentation). Concrètement, tout est constitué d'atomes eux-mêmes composés d'un noyau fait de neutrons (0) et de protons (+), autour duquel tournent des électrons (-). Certains atomes sont trop gros et donc instables. Ils compensent leur instabilité en éjectant des particules de leur noyau. Les éléments qui ont cette particularité sont appelés radionucléides. Ce phénomène qui est, lui, appelé désintégration, se mesure en Becquerel (Bq). Cette désintégration provoque une libération d'énergie et l'émission de rayonnement. A l'échelle naturelle, cela est très contenu. Mais l'homme a appris à forcer ce mécanisme pour obtenir une forte émission énergétique. Mais cela émet aussi plus de radioactivité.

Dans un réacteur nucléaire la fission consiste à faire éclater les atomes instables grâce à des neutrons. Les particules ainsi libérées des noyaux viennent à leur tour frapper d'autres atomes alimentant la réaction en chaîne. Cela crée des rayonnements de trois types : alpha, bêta et gamma.

Une centrale, sauf situation incidentelle, n'a aucun impact sur l'environnement en termes de radioactivité. Les contrôles permanents permettent de pouvoir l'affirmer.

Informations complémentaires :

Les tenues sont lavées dans une laverie de la centrale de Chinon.

Fin novembre 1948, un premier gisement d'uranium est découvert dans le Limousin. Ce gisement entre en exploitation le 10 juillet 1950. Il est suivi de nombreux autres en Vendée (1951), en Bretagne, en Auvergne (1954) et dans le Languedoc (1957), exploités par le CEA ou des acteurs privés. En dix ans, la France devient le premier producteur européen d'uranium. Un total de 217 mines seront exploitées jusqu'en 2001.

La radioactivité est la transformation spontanée d'un noyau instable en un noyau plus stable par libération d'énergie (la désintégration).

Il existe 3 types de rayonnements radioactifs émis lors de ce processus :

- > α (alpha) : émission d'une particule chargée composée de 2 protons et de 2 neutrons. Une feuille de papier peut arrêter ;
- > β (bêta) : émission d'un électron. Une feuille d'aluminium peut l'arrêter ;
- > γ (gamma) : émission d'un rayonnement électro-magnétique (photons), analogue aux rayons X mais provenant du noyau de l'atome. Il faut une forte épaisseur de plomb ou de béton pour l'arrêter.

Réservation pour visite ER : directement sur le site internet : visiteredf.fr. La visite est le dernier vendredi du mois. (copie de sa carte d'identité et numéro sécu obligatoires).

Il existe également 2 types d'expositions :

- **L'irradiation** : c'est l'exposition externe à des rayonnements ionisants. Pour s'en protéger, il existe des parades : limiter l'intensité de la source, la distance, les écrans (comme les murs en béton) et le temps d'exposition (prendre l'exemple du soleil et des brûlures).

A savoir que l'irradiation, suivant le degré d'exposition, peut provoquer des brûlures jusqu'au troisième degré.

- **La contamination** : c'est l'exposition interne ou externe à des particules radioactives. Pour réduire ce risque, EDF veille à la propreté radiologique, le confinement des sources et la tenue.

Dans le cadre de ce démantèlement, le risque majeur est celui d'une contamination par l'absorption de poussière radioactive par le système respiratoire, nous allons voir plus tard comment EDF a résolu ce souci.

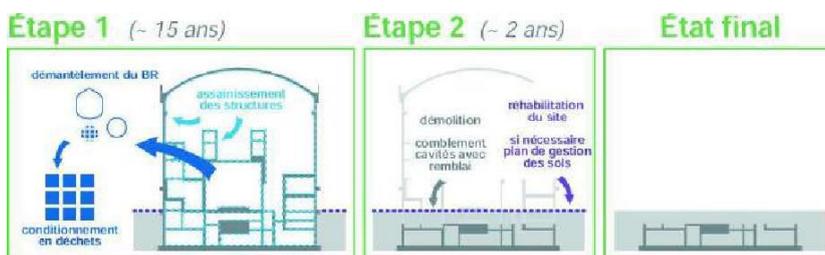
Communication sur l'innovation au service de la déconstruction

Démanteler ne veut pas dire démolir. Le démantèlement est un long processus qui englobe, en outre, la sécurité, les diverses compétences techniques du démontage, la conception de divers outils et de la gestion des déchets. De plus, il correspond à de multiples étapes, autorisées et contrôlées par l'Autorité de Sûreté Nucléaire : **Demande de mise à l'arrêt définitif / Autorisation / Assainissement / Démantèlement / Atteinte état final / Déclassement du site.**

En juillet 2018, EDF a déposé un dossier de démantèlement complet de la centrale de Brennilis. Ce dossier décrit et justifie les scénarios techniques qui seront employés. L'absence de risque pour les populations et l'environnement y est démontrée également. En effet, cela est une des préoccupations majeures d'EDF. Le démantèlement complet est un véritable défi au vu de la complexité du bloc-réacteur.

La durée du démantèlement complet de la centrale est estimée à 17 ans dès le début des travaux comme suit :

- 13 ans sont prévus pour le bloc réacteur qui demande des dispositions particulières pour la radioprotection des travailleurs. Ainsi des robots télécommandés assureront les opérations de découpe et le conditionnement à distance. Le bloc réacteur sera découpé en petites pièces qui seront stockées en container et évacuées vers les sites de stockage.
- 2 ans pour l'assainissement de l'enceinte du réacteur par grattage du béton interne. Ceci est en lien avec la poussière pouvant être inhalée et une solution robotique est envisagée.
- 2 ans pour la démolition des bâtiments conventionnels et pour une remise à l'état naturel du site en vue d'une compatibilité tout usage. Tous les bâtiments seront démolis jusqu'au niveau moins un mètre par rapport au niveau naturel. Les sols seront assainis le cas échéant.



La norme à ne pas dépasser pour les travailleurs du nucléaire est de 20 mSv par an. La centrale de Brennilis est 10 000 fois en dessous de la norme.

La dose annuelle de rayonnement moyen perçue par personne est infinitésimale aux abords d'une centrale nucléaire, en comparaison des doses naturellement présentes ou de celles liées à des applications médicales. On estime ainsi en 2011 que le rayonnement à proximité immédiate d'une centrale nucléaire atteint 0,001 à 0,01 mSv annuellement, soit environ 400 fois moins que la dose de rayonnement naturel.

En France, l'exposition annuelle naturelle est en moyenne de 2,5 mSv. Elle se compose comme suit :

- > l'alimentation (0,55 mSv) ;
 - > le rayonnement tellurique (0,62 mSv) ;
 - > l'air ambiant (1,43 mSv par an) ;
 - > le rayonnement cosmique (0,5 mSv au niveau de la mer) ;
- La radioactivité naturelle n'a pas d'effet décelable : elle n'entraîne pas de dommages sanitaires apparents et l'organisme l'intègre comme un composant naturel du processus biologique.

A côté de l'exposition naturelle, se trouve l'exposition artificielle :

- > médicales (1,8 mSv en France mais 0,6 au niveau mondial > une radiodiagnostics thoracique c'est 0,02 mSv et un scanner abdominal 10 mSv) ;
- > les applications techniques et industrielles (0,1 mSv). Il s'agit de l'exposition aux écrans, des activités minières extractives, des retombées d'essais nucléaires. L'industrie électrique compte pour seulement 0,01 mSv.

En 2020, la mesure dosimétrique sur une moyenne de 70 travailleurs à la centrale de Brennilis a été de 1,069 mSv pour une limite réglementaire de 20 mSv par personne.

La contamination est diminuée par l'absorption d'iode.

La durée de démantèlement d'une centrale REP est de 15 ans.

Communication sur l'innovation au service de la déconstruction

Comme nous l'avons vu précédemment, une grande partie du démantèlement se fera grâce à des robots pilotés à distance dans une salle de commande séparée. Ainsi, les salariés seront protégés pendant toutes les opérations. Les robots, conçus en collaboration avec l'IRT Jules Verne, vont découper et évacuer les matériaux, puis trier et recouper les déchets pour un conditionnement optimal dans le local de conteneurisation. Un robot évolutif sera utilisé. Il permettra d'adapter les outils aux regards des besoins. Un laser sera utilisé pour les découpes de plaques d'acier très robustes et une pince pour les évacuer. Principalement, trois types de robots seront utilisés : découpes, tris, conditionnements.

Unité de mesure de la radioactivité

En radioprotection, on utilise le Sievert pour mesurer l'effet d'un rayonnement sur l'organisme vivant. La mesure s'exprime en « équivalent de dose » et prend en compte les caractéristiques du rayonnement et de l'organe irradié (coefficient de rayonnement). Généralement, l'unité retenue est le millisievert pour tenir compte des doses faibles auxquelles l'homme est confronté. $1 \text{ Sv} = 1\,000 \text{ mSv}$.

La loi française impose la limitation de l'exposition artificielle annuelle à 1 mSv par personne. Les professionnels du nucléaire sont autorisés à dépasser cette limite. On parle alors de travailleurs catégorisés ; soit en catégorie B (exposition limitée à 6 mSv / an), soit en catégorie A (exposition limitée à 20 mSv / an). La loi est protectrice car en dessous de 100 mSv, il n'y a en principe pas d'effet ressenti.

Le Becquerel n'est utilisé que pour évaluer le nombre de désintégrations dans un corps donné (soit en surfacique > Bq en cm^2 , soit en volumique > Bq en m^3).

Description du Bloc Réacteur (BR) : situé au centre de l'enceinte, il se présente comme un parallélépipède rectangle en béton armé de 19 mètres de large, 13,5 mètres de profondeur et 17 mètres de hauteur et contient les principaux éléments suivants :

- > la cuve inox du réacteur : cylindre horizontal d'environ 5m de diamètre et 4,3 m de long traversé par 216 tubes de force dans lesquels étaient introduits les combustibles. Ces tubes de force comportent diverses pièces métalliques (bouchons, tiges, etc.) appelées « internes de canaux » ;
- > des écrans latéraux (autour de la cuve) et axiaux (aux deux extrémités de la cuve), qui constituent une protection thermique et biologique ;
- > les tubulures du circuit CO₂, qui constituent un réseau de plusieurs kilomètres de tuyauteries en acier ;
- > le cadre chaud, sur lequel se raccordent les tubulures qui transportaient le CO₂ réchauffé par le réacteur. Les angles du cadre chaud comportent des sphères, qui étaient reliées aux échangeurs de chaleur ;
- > le cadre froid, sur lequel se raccordent les tubulures CO₂ qui transportaient le CO₂ ressortant des échangeurs ;
- > des tubes de guidage dans lesquels se déplaçaient des barres de contrôle et de pilotage aujourd'hui démontées.

Coût du démantèlement :
Le coût du démantèlement complet de la centrale nucléaire de Brennilis est estimé à 850 millions d'euros, dont 40% pour le démantèlement du bloc réacteur. En fonction des démantèlements partiels déjà opérés, il reste 320 millions d'euros de travaux à réaliser.

La durée du démantèlement de 13 ans pour le réacteur est due à sa compacité et à son cœur encastré dans le béton ; l'absence de piscine, et donc d'eau, conduisant à des travaux par robots et donc plus complexes. L'une des premières opérations concerne les 216 structures tubulaires en zicaloy de chargement des combustibles. Ceci pouvant s'enflammer à la découpe, nécessitent une vitesse de découpe considérablement réduite et un contrôle renforcé.



A l'origine tous les déchets sont dit « conventionnels ». Ils ne sont considérés nucléaires que lorsqu'ils ont été en présence de radioactivité. Donc, ne sont concernés par le process de gestion des déchets nucléaires que ce qui se trouve à l'intérieur de l'enceinte réacteur, faces internes de celle-ci comprises.

Classification des déchets

Les déchets radioactifs sont classés en 5 catégories : très faible activité (TFA), faible activité (FA), moyenne activité (MA), haute activité (HA) et très haute activité (THA), suivant leur intensité radiologique.

Le démantèlement de la centrale de Brennilis n'est concerné que par des déchets de catégorie de très faible à moyenne activité, ceux de haute et très haute ayant disparus lorsque les fluides et les combustibles ont été enlevés entre 1985 et 1992.

Un autre paramètre entre en jeu : leur durée de vie. En effet, sa la radioactivité est naturelle, on ne sait pas la supprimer. Elle décroît avec le temps. Il est donc nécessaire de stocker les déchets contaminés jusqu'à ce qu'ils aient évacué leur radioactivité. La loi distingue donc les déchets à vie courte et ceux à vie longue. Le point médiant retenu est une demie-vie de 31 ans (période pendant laquelle le déchet va perdre la moitié de sa radioactivité). On considère qu'il faut dix période successive pour évacuer complètement la radioactivité. Ainsi, avec une demie-vie de 31 ans, il faut 310 ans pour que le déchet se soit plus contaminé. Toutefois, il s'agit là d'une moyenne purement légale ; chaque radioélément a son propre timing. Certains ont des demie-vies plus courtes et d'autre beaucoup plus longues !

Le conditionnement des déchets et le choix de leur site de stockage, dépend donc de ces paramètre. Le démantèlement de Brennilis ne comporte plus que des déchets à vie courte, de TFA à MA.

Aujourd'hui presque 60 000 tonnes de déchets ont déjà été traités dont les 2/3 ont déjà été évacués.

Sur les 64 000 tonnes que représente le démantèlement restant, 80% des déchets sont conventionnels (soit 56 000 tonnes).

Il reste donc environ 7 500 tonnes de déchets contaminés, tous concentrés dans le bloc réacteur, autour de la cuve. L'immense majorité de ceux-ci (environ 80 %) sont de niveau TFA, c'est-à-dire

Informations complémentaires :

Pour toutes les centrales, les déchets radioactifs « à vie courte » proviennent essentiellement des systèmes de filtration des fluides, des opérations de maintenance sur le matériel, des outils et protections portées pendant les opérations de maintenance, de certains travaux de déconstruction et de gravats et pièces des centrales mises à l'arrêt définitif.

Les déchets radioactifs « à vie longue » sont générés par le traitement du combustible usé par Orano et par la mise au rebut de certaines pièces métalliques. Au bout de 2 ans d'utilisation, les combustibles ont perdu de la puissance. Il faut donc les remplacer. Les assemblages sont aujourd'hui dirigés vers La Hague où ils sont pris en charge par Orano. L'uranium est trié et 96% peut être réutilisé. Seuls 4% de déchets ultimes doivent être conservés. Ces 4 % de cendres sont vitrifiées et coulées dans des conteneurs en acier inoxydable qui sont placés en cellules réfrigérée. Il en va de même pour les pièces métalliques qui sont, elles, compactées.

Les volumes des déchets d'exploitation ont été divisés par 3 depuis 1985.

4 sites de stockage des déchets :

- > TFA à Morvillier (10), géré par l'ANDRA ;
- > FA ET MA à Soulaire (10), géré par l'ANDRA ;
- > incinération et fusion à Marcoule (30), géré par Cyclife ;
- > MAVL au Bugey (01), géré par l'ANDRA.

présentent une radioactivité de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de Becquerel. Ils ne sont donc pas dangereux pour l'être humain (un corps humain moyen, 1,80m pour 75 kilos présente lui-même de 8 000 à 10 000 Bq). Il s'agit donc de 6 200 tonnes de bétons périphérique, à distance, de la cuve.

Plus on se rapproche de la cuve, plus le niveau de radioactivité augmente, mais plus la quantité de matière diminue. Ainsi, les déchets FA ne représentent plus que 1 300 tonnes environ. Ils présentent de quelques centaines de milliers à quelques millions de Becquerels. Reste ensuite la cuve en elle-même, 30 tonnes, de niveau MA de plusieurs milliards de Becquerels.

Enfin, le démantèlement concerne aussi le conditionnement et le stockage des déchets. Ces déchets sont mis en caisson béton, en caisson métallique, en fût plastique pour incinération dans l'installation Centraco, en big-bag ou en casiers suivant leurs radioactivités, leurs dimensions, leurs destinations et leurs compositions.

Ces déchets sont donc, après conditionnement, orientés par camions ou trains sur des sites de stockage et installations dédiés gérés par l'ANDRA (Agence Nationale des Déchets Radioactifs) ou par CYCLIFE. 4 sites les reçoivent suivant leurs compositions. Les déchets issues du démantèlement de l'enceinte réacteur seront pour l'essentiel dirigés vers les sites ANDRA de Soulaines et de Morvilliers dans l'Aube.

EDF est responsable de ses déchets jusqu'à leur arrivée sur les sites de l'ANDRA. Si, une fois sur place, c'est l'ANDRA qui assure leur gestion, EDF doit néanmoins en garantir la traçabilité afin que ceux-ci soient identifiables sur le long terme.

Le combustible de Brennilis n'a pas été envoyé à La Hague mais à Cadarache qui est un site du CEA. La centrale de Brennilis étant à la base une centrale gérée par le CEA et exploitée par EDF, cela permet de conserver le combustible dans le circuit du CEA.

Par ailleurs, le combustible de Brennilis est spécifique à cette centrale uniquement. Il s'agit du seul combustible composé d'uranium enrichi à 1,2% (le combustible des réacteur UNGG n'est pas enrichi et celui des REP est enrichi à 4%). De plus, le format du combustible de Brennilis est lui aussi très différent. Il s'agit de cylindre de 60 cm de long sur 12 cm de diamètre. Actuellement, les assemblages combustibles des REP sont des barres de 5m de haut sur une section carrée de 30 cm.



Comme vous le savez, la centrale nucléaire de Brennilis se trouve au milieu du Parc Naturel Régional d'Armorique (PNRA). Il a été créé en 1969 et couvre 1 250 km².

EDF a mis en place une surveillance permanente de l'environnement depuis la création du site et continuera à le faire jusqu'à la fin du démantèlement complet de la centrale. A ce titre, 12 personnes, dont des ingénieurs en environnement, travaillent à la protection, à la sécurisation et à la propreté industrielle du site et de ses environs. Comme toute installation industrielle, une centrale nucléaire effectue des rejets dans l'environnement. Ces rejets, strictement réglementés sont l'objet d'une surveillance constante sur une distance de 5 km autour de la centrale. 1 800 prélèvements sont effectués par an et 4 000 analyses sont réalisées sur ceux-ci, soit en interne, soit via des laboratoires indépendants. De plus, il y a 3 stations de surveillance et 40 points de prélèvements autour du site.

La radioactivité est un phénomène naturel qui fait partie de notre environnement. Pour estimer et mesurer l'effet du rayonnement sur l'homme, les expositions s'expriment en millisievert (mSv).

L'air est contrôlé EN PERMANENCE entre la sortie de l'enceinte réacteur et la cheminée de rejet. C'est l'air de ventilations du bâtiment qui maintient les locaux en dépression pour limiter la dissémination de poussière radioactive. De plus, les stations de surveillance sont contrôlées quotidiennement. Ces stations sont remplies de filtres en tous genres qui sont échangés et envoyés en analyse tous les jours.

Les rejets d'air peuvent contenir du tritium et du carbone 14. Nous avons la chance de posséder ici un des appareils de mesure radioactive de l'air. Il vérifie le taux de tritium de l'air par barbotage à chaud et à froid donnant ainsi une mesure.

Les résultats sont bons puisqu'ils sont 10 millions de fois inférieurs à la limite réglementaire.

L'eau, quant à elle, est vérifiée une fois par semaine par échantillonnages prélevés dans le lac, la rivière et la nappe phréatique située sous le site. Les résultats montrent qu'il n'y a aucune radioactivité artificielle dans les eaux. Celles-ci sont transmises dans ces récipients.

Informations complémentaires :

Les photographies de la faune et la flore :

- La drosera : c'est une plante carnivore que l'on peut rencontrer au milieu des sphaignes. Elle est rare mais pousse partout en Europe. Ces feuilles, couvertes de poils glanduleux, se replient pour emprisonner à leur contact les insectes qui seront digérées ;
- Les chauves-souris : la chauve-souris est protégée depuis 1976. C'est le seul mammifère volant du règne animal ;
- Les linaigrettes : les rhizomes ont tendance à consolider les berges par entrelacement. Les poils qui poussent sur les linaigrettes sont inadaptés à la fabrication de textile ;
- Le castor d'Europe : il est le plus gros rongeur d'Europe (longueur supérieure à 1 mètre, poids moyen 21 kg). La rivière Ellez est l'un des derniers lieux où l'on peut le trouver à l'état sauvage ;
- La spiranthe d'automne : C'est une toute petite orchidée aux fleurs blanches qui éclosent au mois de septembre ;
- Les odonates : elles sont appelées libellules mais sont des demoiselles. Les larves et adultes sont carnivores ;
- La narthécie des marais : cette plante pousse dans les tourbières et porte le surnom de brise-os. Celui-ci provient d'une croyance selon laquelle, cette plante provoquait la fracture des os des troupeaux qui la mangeaient ;
- Le damier de la Succise : L'arrêté le concernant interdit entre autres toute destruction ou perturbation intentionnelle des insectes à tous les stades de développement. L'adulte est sédentaire et ne change jamais de marais.

L'impact sur la faune et la flore est vérifié un fois par trimestre en prélevant du lait de vache, de l'herbe et de la terre. Tous les ans, une étude est menée sur la terre, le blé, les sédiments et les salades.

Grâce à des inventaires réguliers effectués par des spécialistes environnementaux, la présence d'espèces rares atteste de la qualité unique et préservée de l'environnement du site.

Il est à noter que le site de Brennilis n'émet aucun rejet d'effluents radioactifs liquides ni aucun rejet chimique et thermique. Les derniers rejets liquides évacués dans l'Ellez après passage par la STE datent de 1993.

La mulette perlière est une moule d'eau douce. Cette espèce protégée est en voie d'extinction car elle ne peut grandir et se reproduire qu'en présence d'une eau très pure en absence de toute forme de pollution. EDF, en partenariat avec l'association Bretagne Vivante, contribue aux actions de sauvetage et de sensibilisation autour de la mulette perlière sur le court de la rivière Ellez.

Afin de satisfaire à la bonne gestion écologique du site et de son environnement, EDF a mis en place énormément de moyens en personnes et en actions. Vous retrouverez toutes ces informations sur le site d'EDF ou dans le livret « Rapport annuel d'information du public relatif à l'installation nucléaire de Brennilis ».

EDF réalise une fois par an un exercice environnemental. Ces exercices sont formateurs pour les participants et sensibilisent les salariés et entreprises sous-traitantes vis à vis des risques environnementaux.

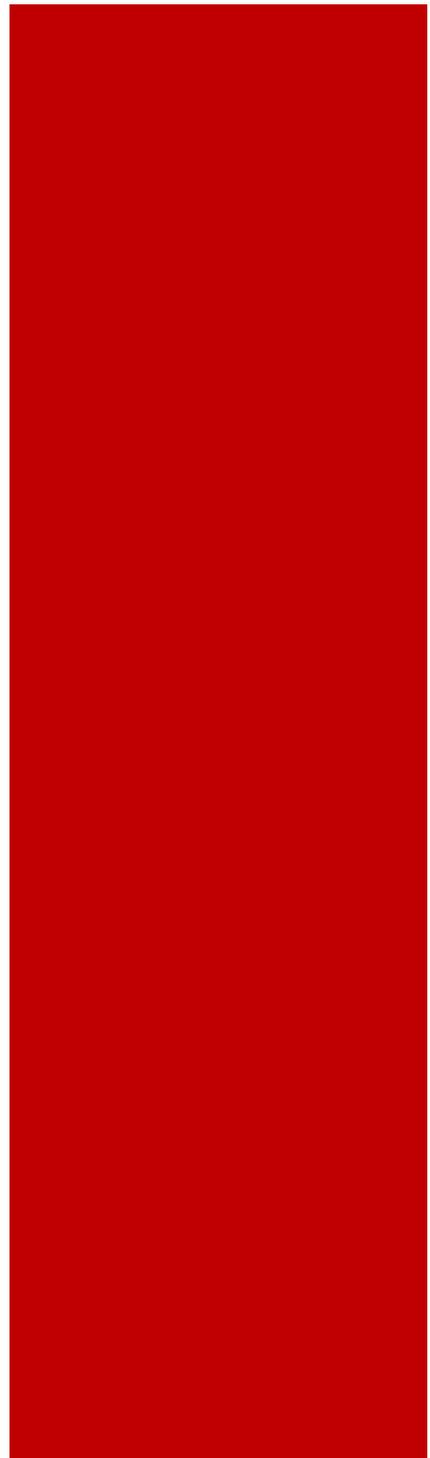
La zone d'influence du site nucléaire de Brennilis sur le milieu terrestre et aquatique est définie par un cercle de 5 km de rayon centré sur le site.

Espaces naturels remarquables dans la zone d'influence de 5 km sont recensés :

- Un site Natura 2000 ;
- Onze Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) ;
- Quatre arrêtés de protection du biotope : Montagnes et tourbières de la Feuillée, Landes tourbeuses du Roudouhir et du Libist, Landes et tourbières du Ster Red et du Yeun, Montagne de Botmeur / Menezioù Boneur ;
- La réserve naturelle nationale de Venec, d'une superficie d'environ 48 ha ;
- La réserve associative du Moulin du Reun Du, d'une superficie de 0,2 ha ;
- Six Espaces Naturels Sensibles : Arrière Venec, Ty ar Boudiged, Roudoudour, Vallée Ellez, Saint-Michel, Noces de pierre ;
- Le parc naturel régional d'Armorique, d'une superficie de 125 000 ha.



Espace enfance : nous invitons les enfants à dessiner comment ils voient le site après démantèlement et à accrocher leurs dessins sur le tableau.





Espace destiné aux personnes sans guide. Choix de 3 vidéos.



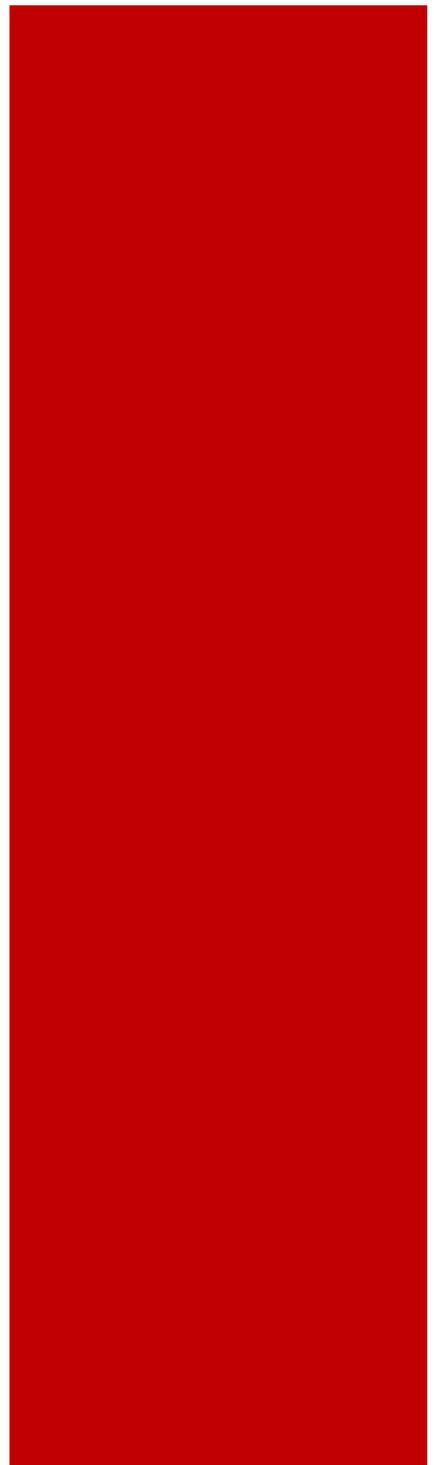


Espace destiné aux personnes sans guide. Présentation de vidéos.





Espace questions/réponses destiné aux enfants et adultes





(Faire asseoir les visiteurs)

A partir de ce moment de la visite, nous avons pu percevoir l'attention permanente qu'EDF porte aux technologies et aux sécurisations maximales mises en place, tant sur le fonctionnement des centrales nucléaires que dans leurs démantèlements et l'environnement.

Vous pouvez ici exprimer vos propres préoccupations, questions ou recherches d'informations sur le nucléaire civil énergétique mais aussi sur le mix énergétique qui sont d'autres solutions à l'approvisionnement d'électricité qu'EDF propose à ses clients.

Informations complémentaires :

Le charbon reste de loin la première source d'électricité dans le monde (9 421,4 TWh). Il est suivi par le gaz fossile (6 268,1 TWh) puis par l'hydraulique (4 296,8 TWh). Solaire, éolien et biomasse grimpent donc à la 4^e place, devant le nucléaire, le fioul (758 TWh) et les autres modes (231,8 TWh).

Petites aides :

Y-a-t'il un risque de pénurie d'uranium ?

L'inventaire annuel montre que les réserves de ce métal sont suffisamment abondantes pour permettre un développement durable du nucléaire, tout au long du 21^e siècle et au-delà. Selon l'AIEA qui fait référence dans ce domaine, les ressources mondiales identifiées sont de plus de 5,9 millions de tonnes, soit l'équivalent d'un siècle de consommation au rythme actuel. Ces ressources ont été régulièrement révisées à la hausse ces dernières années car les campagnes de prospection se multiplient, découvrant de nouveaux gisements.

Quelle est cette fumée blanche au-dessus des centrales ?

Ce n'est pas de la fumée, mais de la vapeur d'eau ! Cette vapeur d'eau, visible au-dessus des centrales nucléaires, vient d'une tour de refroidissement. Au sein de ces tours, la chaleur est dissipée par évaporation d'eau. Suivant les conditions météorologiques, cette vapeur d'eau peut être quasiment invisible ou bien former un panache plus ou moins volumineux. La fumée blanche est non-radioactive car le circuit de refroidissement est séparé du circuit primaire par un circuit intermédiaire, et surtout par le fait qu'il n'y a pas d'échange de matière entre ces circuits. Il ne peut donc être contaminé. L'eau dans le panache n'a donc pas été en contact avec la partie nucléaire de la centrale... Mais elle est quand même surveillée et contrôlée, comme tous les rejets des centrales nucléaires. Ce panache montre simplement que la centrale est en fonctionnement et produit de l'électricité.

Une centrale nucléaire peut-elle exploser ?

Non, une centrale n'est pas une bombe atomique !

Une bombe atomique et une centrale nucléaire utilisent toutes les deux l'énergie très importante contenue dans les noyaux libérés par la réaction en chaîne. Mais, à la différence d'une bombe atomique, une centrale nucléaire utilise un uranium enrichi à environ 4% totalement impropre à faire une bombe. Tandis qu'une bombe atomique utilise de l'uranium et du plutonium presque purs. Des explosions se sont produites lors des accidents de Fukushima et de Tchernobyl. Mais ce n'est pas le combustible nucléaire qui a explosé. A Tchernobyl, la combinaison de multiples facteurs physico-chimiques est à l'origine des explosions. A Fukushima, c'est l'accumulation massive d'hydrogène qui est en cause.

Non, c'est une impossibilité physique. Une bombe est conçue pour libérer une très forte quantité d'énergie pendant un temps très court (moins d'une seconde). Ceci suppose des matériaux très concentrés en isotopes fissiles (de l'uranium 235 ou du plutonium 239 pratiquement purs) et des mécanismes tout à fait spécifiques. Dans un réacteur nucléaire, au contraire, on extrait de la matière fissile une quantité d'énergie stable sur une longue période (plusieurs années). On utilise pour cela des combustibles à faible enrichissement (moins de 5 % d'uranium 235 dans les réacteurs dits thermiques, moins de 20 % de plutonium dans un réacteur à neutrons rapides) impropres à faire une bombe.

Le nucléaire est-il une énergie chère ?

De toutes les énergies disponibles aujourd'hui, le nucléaire est la moins chère. Depuis plusieurs décennies déjà, il permet à la France d'avoir une électricité plus compétitive que celle de ses voisins européens. Cet atout bénéficie à l'ensemble de la collectivité, des ménages aux entreprises. Et ce n'est pas près de s'arrêter. L'énergie nucléaire reste l'énergie bas-carbone la plus compétitive pour longtemps. En mai 2014, la Cour des comptes a mis à jour ce rapport, le coût de production du nucléaire se situe entre 56 et 61 €/MWh, 70 à 100 €/MWh pour le thermique et 85 à 285 €/MWh pour le renouvelable. Le démantèlement et le stockage des déchets radioactifs sont compris dans le coût du nucléaire. (Rapport de la Cour des Comptes, 2014)

Les rapports de la Cour des comptes évaluent le coût économique complet du nucléaire : investissement initial, combustible d'uranium, coûts d'exploitation, travaux de rénovation, gestion et stockage des déchets radioactifs, démantèlement et réhabilitation du site. La Cour des comptes, comme l'Assemblée nationale, a conclu à l'absence de coûts cachés dans la filière nucléaire.

Les charges futures de démantèlement des centrales sont intégrées dans le prix de vente du kilowatt/heure (kWh). Cela permet à l'exploitant, EDF, de constituer des provisions dans ses comptes. En 2013, les provisions constituées par la filière nucléaire pour le démantèlement sont de 19,6 milliards d'euros placés sur des actifs dédiés qui couvriront, à terme, les dépenses estimées à 34,4 milliards d'euros.

Que fait-on des déchets nucléaires ?

Si 62 % des déchets radioactifs produits en France sont issus de l'industrie nucléaire (exploitation de centrale nucléaire, de laboratoire de recherche, etc.), 38 % sont produits par d'autres secteurs comme la médecine (sources radioactives utilisées pour des examens type scintigraphie ou des traitements) ou encore la Défense. Jusqu'à 96 % du combustible usé issu d'un réacteur nucléaire peut être recyclé. En France, le recyclage des déchets nucléaires permet d'économiser les ressources en uranium naturel et de diviser le volume des déchets par 5 et leur radioactivité par 10. La France est le seul pays à disposer de cette technologie.

Quel avenir pour l'énergie nucléaire ?

Le monde a déjà dépensé 70 % de son « budget carbone ». Le budget carbone, est la quantité totale de CO₂ qui peut être émise dans l'air avant que le changement climatique soit irréversible. Le GIEC l'évalue à 2 900 milliards de tonnes, entre l'ère préindustrielle et 2050. Le monde a déjà dépensé 2 000 milliards de tonnes, dont 1 000 ces 40 dernières années.

Le nucléaire est une des solutions face à l'urgence climatique

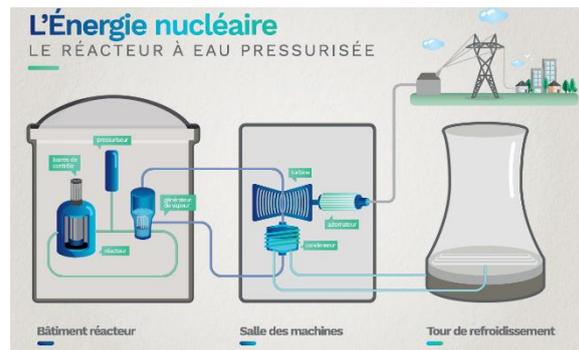
D'après l'Agence Internationale de l'Energie (AIE), l'énergie nucléaire a évité la libération de 56 gigatonnes de CO₂ depuis 1971, l'équivalent de deux ans d'émissions mondiales totales aux rythmes actuels. En Europe, l'énergie nucléaire permet d'économiser l'équivalent des émissions de CO₂ des trafics automobiles de l'Allemagne, du Royaume-Uni, de la France et de l'Italie réunis.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la pollution atmosphérique fait chaque année plus de 7 millions de morts dans le monde, villes et campagnes confondues. A comparer avec les décès causés par le nucléaire civil.

L'utilisation du nucléaire à la place des combustibles fossiles permet d'éviter les rejets à l'atmosphère de quantités considérables de produits polluants, diminuant d'autant la pollution atmosphérique.

Demain : vers un nucléaire renouvelable ?

La 4^{ème} génération de réacteurs nucléaires pourrait être déployée dans plusieurs dizaines d'années. Le secteur nucléaire français y travaille dans le cadre d'une coopération mondiale dont il est un des principaux animateurs. Le projet ASTRID conduit par le CEA, un prototype de moyenne puissance devant entrer en service dans les années 2020, relève de la filière des réacteurs à neutrons rapides (RNR). Ces RNR ont des potentialités exceptionnelles : ils sont capables de produire, avec la même quantité d'uranium naturel, soixante fois plus d'électricité que les réacteurs actuels. Ils pourraient ainsi assurer un approvisionnement en électricité de la France et du monde pendant des siècles. Ces réacteurs pourront également consommer le plutonium produit dans les centrales nucléaires classiques et diminuer le stock de déchets à vie longue en les transformant en déchets à vie courte.



En France, toutes les centrales en fonctionnement sont des réacteurs à eau pressurisée (REP). Elles fonctionnent suivant le même principe :

- Dans le bâtiment réacteur, à simple ou double enceintes, se trouvent la cuve contenant les combustibles nucléaires de type uranium enrichi. Ceux-ci par leurs échanges neutroniques, vont chauffer l'eau du circuit primaire jusqu'à des températures de l'ordre 326°C et y revient à environ 290°C.
- L'eau de ce circuit primaire est pressurisée à 155 atmosphères par un pressuriseur. La pression lui permet de conserver son état liquide à très haute température. Cette eau du circuit primaire vient mettre en ébullition et sous forme de vapeur l'eau du circuit secondaire, appelé circuit vapeur. La vapeur est alors conduite vers une turbine et entraîne en rotation celle-ci qui elle-même entraîne l'alternateur. L'alternateur distribue enfin son énergie sur le réseau électrique.
- La vapeur, quant à elle, retrouve son état liquide après son passage par le condenseur avant de revenir vers le générateur de vapeur. Pour faire revenir cette vapeur à l'état liquide, le condenseur est refroidi par un troisième circuit d'eau appelé circuit de refroidissement. L'eau de ce dernier circuit, chauffée par les échanges thermiques dans le condenseur, va se faire refroidir dans une tour de refroidissement. Ce refroidissement est effectué par appel d'air froid des couches atmosphériques ou/et par de l'eau d'un fleuve, d'un lac ou de la mer. Ce refroidissement provoque les nuages de vapeur sortant des tours de refroidissement.

Ces trois circuits opèrent des échanges thermiques entre eux tout en restant indépendants, ce qui évite toute dispersion de la substance radioactive à l'extérieur de la centrale. Les nuages émis par la tour ne sont donc aucunement radioactifs.

La différence de fonctionnement entre une centrale REP et notre centrale eau lourde n'est pas énorme. Celles-ci se situent dans le combustible qui est de l'uranium légèrement enrichi (de l'ordre d'1,2%) au lieu de l'uranium faiblement enrichi (4%), dans l'eau lourde de la cuve à la place d'eau légère, dans le gaz CO₂ à la place de l'eau pressurisée et dans un bassin d'accumulation calorifique à la place d'une tour.

Informations complémentaires :

Un tiers du combustible est remplacé tous les 12 à 18 mois.

Les aéroréfrigérants n'équipent que les centrales dont la source froide (rivière ou mer) ne permet pas d'évacuer la chaleur nécessaire au fonctionnement. Les tours de refroidissement permettent de réduire la température de l'eau retournée à la source froide et ainsi d'en diminuer la pollution thermique.

Les sites de bord de mer n'ont généralement pas de tour de refroidissement.

La hauteur de ces réfrigérants peut être réduite pour des raisons visuelles ; par exemple, compte tenu de la proximité des châteaux de la Loire, les tours à tirage induit de la centrale de Chinon ne dépassent pas 30 m. La tour de refroidissement de la centrale de Golfech atteint la hauteur de 178,5 m.

Depuis juillet 2020, après la mise à l'arrêt des deux de Fessenheim, 56 réacteurs nucléaires sont en fonctionnement en France. Ils sont répartis sur 18 sites.

La technologie originale dite « à l'eau lourde » est abandonnée dès 1971 pour cause de non-rentabilité. En effet pour une structure identique de même importance, une centrale à l'eau lourde produit 1/3 à 2 fois moins qu'une centrale REP. Le besoin imminent en énergie de la France après-guerre a fait que l'état a choisi la solution qui pouvait produire le plus pour une durée de construction identique.



Il existe 3 types de centrales thermiques.

La centrale classique

C'est le type le plus répandu et le plus ancien. Il utilise des combustibles fossiles et fonctionne avec une chaudière à vapeur. Il en existe 3 sortes, suivant le combustible utilisé :

- Thermique au charbon ;
- Thermique au fioul (remplacé par le charbon après le choc pétrolier de 1973) ;
- Thermique au gaz

À Lit Fluidisé Circulant (LFC)

Elles fonctionnent comme une centrale à flamme classique mais émettent moins d'oxydes d'azote et de soufre, grâce à l'ajout de calcaire dans la chaudière et à une température de combustion plus basse.

Elles utilisent du charbon mais aussi du lignite, de la tourbe et divers résidus industriels.

La Turbine à Combustion (TAC) à Cycle Combiné

Ce sont bien ces types de centrales qui sont en service sur le site de Brennilis et dont le fonctionnement est expliqué sur ce visuel.

Les centrales de ce type associent une TAC (Turbine à Combustion) et une turbine à vapeur. Les combustibles brûlés sont du gaz ou du fioul.

- De l'air prélevé dans l'atmosphère est fortement comprimé par un compresseur, ce qui augmente sa pression et sa température ;
- Il pénètre ensuite dans la chambre de combustion, dans laquelle est injecté du fioul ou du gaz. Ce mélange gazeux est porté à plus de 1 000°C ;
- Il dégage ainsi beaucoup d'énergie pour faire tourner une Turbine à Combustion. Celle-ci entraîne un alternateur qui produit de l'électricité. Les fumées de combustion sont dépoussiérées grâce à des filtres et sont évacuées par des cheminées

En version combiné,

- La chaleur des gaz d'échappement de la TAC est transformée en vapeur par le biais d'un générateur de vapeur ;

Informations complémentaires :

La centrale classique

Chaque chaudière ne peut utiliser qu'un seul type de combustible.

- Le charbon est transformé en fines particules dans un broyeur, puis mélangé à de l'air réchauffé avant d'être introduit sous pression dans le brûleur de la chaudière ;
- Le fioul lourd, trop visqueux pour être utilisé tel quel, doit être liquéfié en le chauffant avant de l'injecter dans les brûleurs ;
- Gaz naturel ou récupéré des hauts fourneaux, il est utilisé tel quel.

Fonctionnement centrale classique :

La combustion de ces combustibles dégage une chaleur qui va chauffer la chaudière tapissée de tubes dans lesquels circule de l'eau froide. L'eau se transforme alors en vapeur. Celle-ci est envoyée sous pression vers les turbines et les fait tourner entraînant à leur tour un alternateur.

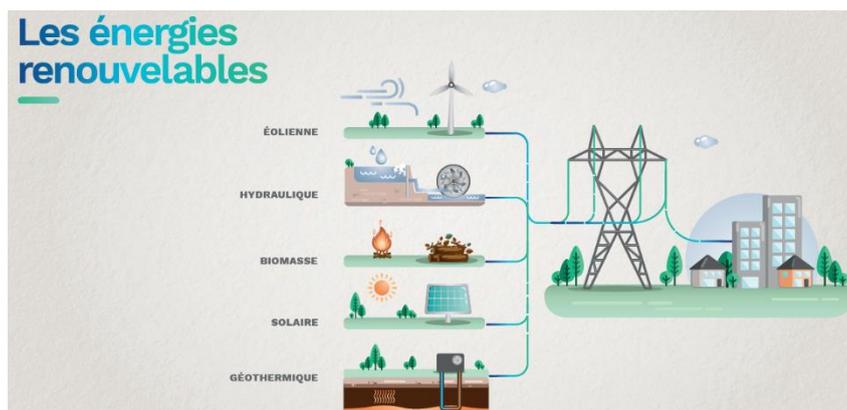
À la sortie de la turbine, la vapeur est à nouveau transformée en eau grâce à un condenseur dans lequel circule de l'eau froide en provenance de la mer ou d'un fleuve. L'eau ainsi obtenue est récupérée et re-circule dans la chaudière pour recommencer un autre cycle. L'eau utilisée pour le refroidissement est restituée à son milieu naturel ou renvoyée dans le condenseur.

Tac à cycle combiné

Ce type de centrale peut être facilement implanté au plus près des lieux de consommation (zones urbaines, installations industrielles, sites EDF existants).

- La vapeur fait tourner une turbine qui entraîne son propre alternateur.

Cette technologie assure un rendement énergétique nettement supérieur à celui d'une centrale thermique classique (65% contre 38%).



Une énergie est dite renouvelable lorsqu'elle provient de sources que la nature renouvelle en permanence.

Les énergies renouvelables proviennent de deux grandes sources naturelles : le Soleil (à l'origine du cycle de l'eau, des marées, du vent et de la croissance des végétaux) et la Terre (qui dégage de la chaleur).

Leurs exploitations engendrent très peu de déchets et d'émissions polluantes mais leur pouvoir énergétique est beaucoup plus faible que celui des énergies non renouvelables.

L'éolien

Une éolienne produit de l'électricité grâce au vent. Sa force actionne les pales du rotor, qui met en rotation un alternateur. Le rotor est situé au bout d'un mât à une hauteur de 10 à 100m. Le rotor comporte généralement 3 pales.

Les éoliennes tournent plus de 80% du temps, à des vitesses variables en fonction de la puissance du vent. Ainsi, un parc éolien de 4 à 6 éoliennes couvre les besoins en électricité de près de 12 000 personnes.

Une éolienne commence à fonctionner à partir d'une vitesse de vent de 15 km/h et pour des questions de sécurité, s'arrête automatiquement lorsque le vent dépasse 90 km/h.

Un transformateur situé à l'intérieur du mât élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne tension du réseau.

L'hydroélectrique

En France, l'hydroélectricité est la deuxième source de production d'électricité et la première source d'énergies renouvelables.

Ce sont les barrages de montagnes, de fleuves, les usines marémotrices et les hydroliennes.

Une centrale hydraulique produit de l'électricité grâce à une chute ou un débit d'eau qui met en mouvement une turbine reliée à un alternateur.

Pour les barrages, la force de l'eau, par chute ou débit, fait tourner une turbine qui fait à son tour fonctionner un alternateur. Grâce à l'énergie fournie par la turbine, l'alternateur produit un courant électrique alternatif. Un transformateur élève la tension du courant électrique

Informations complémentaires :

Chaque centrale se met en marche selon un programme prédéfini en fonction des besoins d'électricité.

En France, l'usine marémotrice de la Rance occupe l'estuaire de la Rance sur 700m de large. Elle produit chaque année 4% de l'électricité consommée en Bretagne, soit l'équivalent de la consommation d'une ville comme Rennes.

Les hydroliennes : Ce mode de production d'énergie possède de nombreux atouts :

- il est prévisible : les marées, donc le mouvement des courants, peuvent être calculées à l'avance ;
- il occupe peu d'espace : du fait de la densité de l'eau, les machines peuvent donc être plus compactes ;
- il possède un gros potentiel du fait des courants qui baignent les côtes de nombreux pays dans le monde.

En Bretagne, dans les Côtes d'Armor, EDF met à disposition son expertise et ses infrastructures sur le site de Paimpol-Bréhat, site d'essais en mer au profit du développement de la filière hydrolienne, soutenu par la Région Bretagne et l'Europe

produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à très haute et haute tension.

Dans une usine marémotrice, la force du flux et du reflux de la marée est utilisée pour produire de l'électricité en temps réel.

Le fonctionnement d'une usine marémotrice est un peu identique à celui d'une centrale hydroélectrique de basse chute :

- 1 En montant et en descendant, la marée fait tourner des turbines dans un sens puis dans l'autre ;
- 2 Les turbines font à leur tour fonctionner un alternateur qui produit un courant électrique alternatif ;
- 3 Un transformateur élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à très haute et haute tension.

Les hydroliennes captent l'énergie des courants marins pour produire de l'électricité, comme les éoliennes le font avec la force des vents.

Leur fonctionnement est aussi simple que celui d'une éolienne :

- 1 La force des courants marins actionne les pales d'une ou plusieurs hélices ;
- 2 L'énergie mécanique produite par la rotation des pales est transmise à un alternateur ;
- 3 L'alternateur produit de l'énergie électrique, acheminée par des câbles sous-marins jusqu'au rivage.

D'autres modes de production d'électricité, actuellement en recherche ou en expérimentation à des stades plus ou moins avancés, utilisent les richesses de la mer telles que :

- L'énergie thermique des mers qui exploite la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans ;
- L'énergie des vagues et de la houle ;
- L'énergie osmotique, qui exploite le phénomène d'osmose entre l'eau douce et l'eau salée, par exemple au voisinage des estuaires, où ces deux eaux se mélangent ;
- La biomasse marine, qui exploite les algues et le phytoplancton par gazéification, fermentation ou combustion.

La biomasse

Dans une centrale biomasse, c'est la vapeur d'eau issue de la chaleur de la combustion de matières végétales ou animales qui met en mouvement une turbine reliée à un alternateur. Les centrales de méthanisation fonctionnent suivant les mêmes principes ; le gaz méthane servant de combustible.

- La biomasse est brûlée dans une chambre de combustion ;
- En brûlant, la biomasse dégage de la chaleur qui va chauffer de l'eau dans une chaudière. L'eau se transforme en vapeur, envoyée sous pression vers des turbines ;
- La vapeur fait tourner une turbine qui fait à son tour fonctionner un alternateur. Grâce à l'énergie fournie par la turbine, l'alternateur produit un courant électrique alternatif. Un transformateur élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne et haute tension ;

- À la sortie de la turbine, une partie de la vapeur est récupérée pour être utilisée pour le chauffage. C'est ce que l'on appelle la cogénération.

Le reste de la vapeur est à nouveau transformée en eau grâce à un condenseur dans lequel circule de l'eau froide en provenance de la mer ou d'un fleuve. L'eau ainsi obtenue est récupérée et re-circule dans la chaudière pour recommencer un autre cycle.

Le photovoltaïque

Une centrale photovoltaïque est un moyen de production d'électricité industriel qui permet de produire de l'électricité grâce à la lumière du soleil.

- Les panneaux solaires installés en rangées et reliés entre eux captent la lumière du soleil ;
- Sous l'effet de la lumière, le silicium, un matériau conducteur contenu dans chaque cellule, libère des électrons pour créer un courant électrique continu ;
- Un onduleur transforme ce courant en courant alternatif pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à moyenne tension du réseau. L'électricité est consommée par les appareils électriques. Si l'installation n'est pas raccordée au réseau (site isolé), elle peut être stockée dans des batteries. Sinon, tout ou partie de la production peut être réinjectée dans le réseau, EDF ayant obligation de rachat de cette électricité. Lorsque la production photovoltaïque est insuffisante, le réseau fournit l'électricité nécessaire.

La géothermie

Une centrale géothermique produit de l'électricité grâce à la chaleur de la Terre qui transforme l'eau contenue dans les nappes souterraines en vapeur et permet de faire tourner une turbine et un alternateur. La géothermie utilise le principe de la « cocotte minute ».

- De l'eau de pluie ou de mer s'infiltré dans les fractures de la croûte terrestre pour constituer un réservoir dans le sous-sol. Cette eau se trouve à haute température, de 150 à 350°C grâce au volcanisme ou au magma de la terre ;
- Par un forage dans le sous-sol, l'eau chaude est pompée jusqu'à la surface. Pendant sa remontée, elle perd de sa pression et se transforme en vapeur ;
- La pression de cette vapeur fait tourner une turbine qui fait à son tour fonctionner un alternateur. Puis cette eau, une fois refroidie et revenue à l'état liquide, est retournée dans sa nappe. Grâce à l'énergie fournie par la turbine, l'alternateur produit un courant électrique alternatif. Un transformateur élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur pour qu'il puisse être plus facilement transporté dans les lignes à haute tension.

Émissions de gaz à effet de serre par type de production d'électricité, sur l'ensemble du cycle de vie (valeurs médianes mondiale, gCO₂eq/kWh)⁸⁴.

Énergie primaire	gCO ₂ eq/kWh	Commentaire
Charbon	820	
Gaz cycle combiné	490	
Solaire photovoltaïque en toiture	41	Hors stockage ou appoint.
Géothermie	38	
Solaire à concentration	37	Hors stockage ou appoint.
Hydroélectricité	24	
Solaire à concentration	27	Hors stockage ou appoint.
Nucléaire	12	
Éolien en mer	12	Hors stockage ou appoint.
Éolien terrestre	11	Hors stockage ou appoint.



Ce visuel nous présente tous les réacteurs en démantèlement en France. Ils sont au nombre de 9. Je vous rappelle au passage que seule la France démantèle ces centrales dans le monde. Ces démantèlements concernent 4 technologies différentes.

Il s'agit de 6 centrales de type uranium naturel graphite gaz, qui fut la première technologie utilisée par EDF en France, dont 3 situées à Chinon, 2 à Saint-Laurent et 1 au Bugey, et de la centrale de Chooz, la « cousine » en tant que prototype de celle de Brennilis. Elle fût la première centrale de technologie à eau pressurisée d'une longue série toujours en activité.

Notre centrale de Brennilis de technologie eau lourde.

Et pour finir la centrale de Creys-Malville, Super Phénix, qui était de technologie surgénérateur à neutron rapide.

Nous voici au bout de notre voyage à travers le site énergétique de Brennilis. Je vous remercie pour votre écoute, votre intérêt à la chose nucléaire civile et au démantèlement de notre centrale de Brennilis. Avant de nous quitter je vais confier à ceux qui le désirent un document informatif sur l'ensemble du démantèlement de la centrale. Je vous demanderai aussi de bien vouloir en parler autour de vous, dans vos familles, vos amis et vos connaissances et de leurs proposer une visite chez nous.

Informations complémentaires :

La filière UNGG regroupe les réacteurs nucléaires ayant pour caractéristiques communes :

- l'uranium naturel métallique, gainé d'un alliage de magnésium et de zirconium, comme combustible ;
- le graphite comme modérateur de neutrons ;
- un gaz comme fluide caloporteur, l'air puis le dioxyde de carbone (CO₂) gazeux sous pression.

Superphénix d'une puissance de 1 240 MW a été mis en service en 1986. Il était conçu pour produire de l'électricité et était refroidi par du sodium liquide. C'est le seul RNR à avoir atteint le seuil de production industrielle d'électricité. En 1996, il avait été décidé de renoncer à la production d'électricité mais d'utiliser les neutrons rapides du réacteur pour y brûler des déchets radioactifs. Malgré cette décision, Superphénix a été définitivement arrêté en 1997.

Dans un réacteur nucléaire à neutrons rapides, le combustible de base est l'uranium 238. Il a la propriété d'absorber un neutron rapide pour se transformer en plutonium 239, lequel est lui-même fissile sous l'impact d'un autre neutron rapide. La fission du plutonium 239 dégage trois neutrons ainsi qu'une énergie considérable transformable en chaleur. Les RNR peuvent obtenir des rendements près de 100 fois supérieurs à ceux des réacteurs (principalement de type REP/REB) actuels.

En France métropolitaine, on dénombre environ 2 300 installations hydroélectriques, de tailles et de puissances très diverses, dont 433 sont exploitées par EDF.

Ce casque permet de proposer des visites virtuelles de la centrale de Brennilis aux visiteurs et en particulier à ceux sans guide.

Accès à la visite virtuelle de l'E.R. :

- se connecter au navigateur ;
- ouvrir une nouvelle page ;
- cliquer sur les 3 points en haut à droite de l'écran pour accéder au menu ;
- une fois sur le menu, aller dans « signets » puis appuyer sur « Centrale de Brennilis » ;
- Si le mode « VR » n'est pas affiché, cliquer sur le bouton à proximité des 3 points en haut à droite de l'écran puis cliquer sur « Mode VR ».

A ce moment, je vous laisse découvrir le site et faire la visite en sélectionnant et suivant les points numérotés et le didacticiel.

Informations complémentaires :

Réseau Wifi : SWIT
Identifiant : aplougoul
Mot de passe : pCr1313?

1948, Zoé, la première pile atomique française, diverge. Zoé est la première installation de recherche du CEA.

En 1952, la 2^e pile atomique, EL2, entre en production.

En 1955, le CEA met en service à Marcoule un premier réacteur nucléaire modéré au graphite utilisant l'uranium naturel comme combustible (filiale dite « UNGG »). D'une puissance très modeste de 2 MW, ce réacteur baptisé « G1 » est le premier à fournir de l'électricité.

En 1957, la 3^e pile atomique est mise en service. La puissance d'EL3 est de 17,5 mégawatts tandis qu'EL2 n'atteignait que 2.5 mégawatts.

En 1958 et 1960, 2 autres réacteurs expérimentaux (G2 et G3), délivrant chacun une puissance de 40 MW, sont mis en service.

En 1957 a lieu la construction du premier réacteur de la centrale nucléaire de Chinon (70 MW) du même type que les réacteurs du CEA. Au total, 9 réacteurs de « première génération » appartenant à la filiale UNGG sont construits en France, le dernier d'entre eux (Bugey 1 dont la puissance atteint 540 MW) étant raccordé au réseau en 1972. Ils portent alors la puissance totale installée du parc nucléaire français à 2 084 MW. En 1973, le nucléaire satisfait environ 8% de la production d'électricité française.

En mars 1974, Un programme de construction de très grande ampleur est lancé : 54 réacteurs à eau pressurisée (REP), d'une puissance cumulée de plus de 55 000 MW (55 GW), sont construits. Leur coût de construction total atteignant l'équivalent de plus de 65 milliards d'euros actuels.

En avril 1977, le premier réacteur à eau pressurisée Fessenheim 1 (d'une puissance de 880 MW) est connecté au réseau électrique. Tous ces réacteurs à eau pressurisée dits de « deuxième génération » constituent le parc nucléaire actuellement en fonctionnement en France. Le réacteur de Civaux 2, raccordé au réseau électrique en juin 1999, est le dernier réacteur nucléaire de cette génération à avoir été mis en service.

En 2007, une nouvelle technologie de troisième génération de type European Pressurized Reactor est lancée. En juillet 2021, l'EPR de Flamanville (Manche) vient d'obtenir de L'État son autorisation d'exploiter. Une étape administrative qui devra être complétée par d'autres autorisations, avant un démarrage annoncé par EDF pour la fin de l'année 2022.

Informations complémentaires :

Zoé est un outil de laboratoire aux dimensions imposantes : contenue dans un hall de 20 m par 20 m et de 17 m de hauteur, le cœur à base d'oxyde d'uranium est inséré dans une cuve d'aluminium de 1,91 m de diamètre et 2,35 m de hauteur, remplie d'eau lourde.

Fin novembre 1948, un premier gisement d'uranium est découvert à Saint-Sylvestre, dans le Limousin. Ce gisement, dit de La Crouzille, entre en exploitation le 10 juillet 1950. Il est suivi de nombreux autres en Vendée (1951), en Bretagne, en Auvergne (1954) et dans le Languedoc (1957), exploités par le CEA ou des acteurs privés. En dix ans, la France devient le premier producteur européen d'uranium. Un total de 217 mines seront exploitées jusqu'en 2001.

Initialement, le Général de Gaulle avait choisi la filiale UNGG pour des raisons d'indépendance (garantie d'approvisionnement en uranium naturel) et avait donné son accord pour la construction de deux réacteurs de ce type à Fessenheim. Le Président Georges Pompidou décide d'abandonner la filiale développée par le CEA et de choisir la filiale à uranium enrichi et à refroidissement par eau pressurisée « REP ».

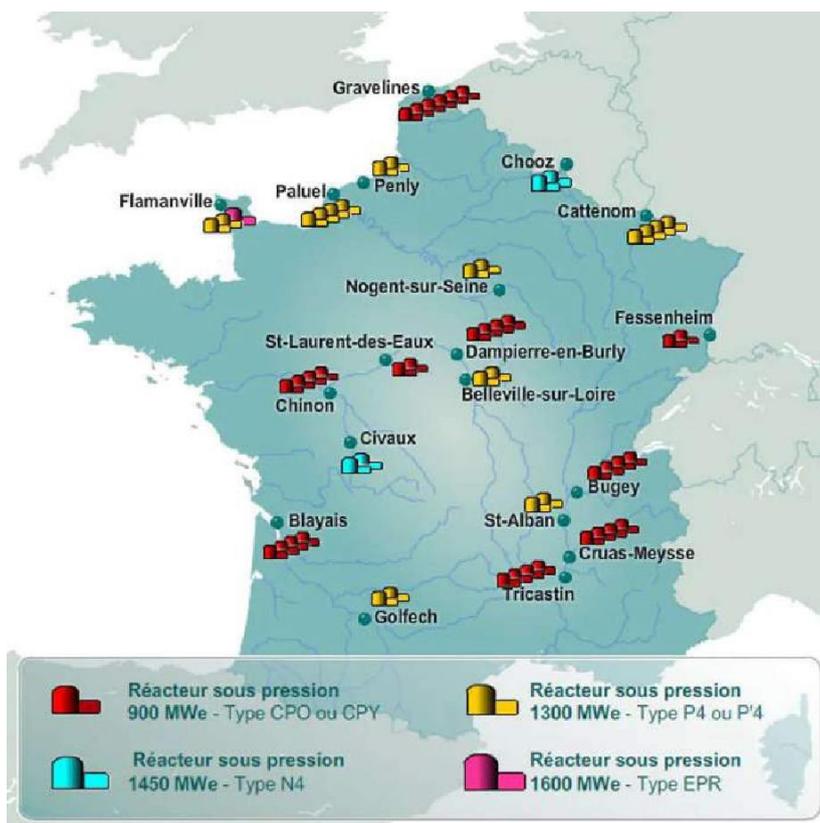
Le CEA développe actuellement le réacteur Astrid (4^e génération), un prototype de 600 MW, qui devrait entrer en service en 2023 à Marcoule si les pouvoirs publics en donnent l'accord.

Projet fusion nucléaire « contrôlée »

La fusion désigne l'assemblage de deux noyaux légers formant ainsi un noyau plus lourd. Ce processus dégage d'énormes quantités de chaleur et produit théoriquement 4 fois plus d'énergie que la fission à masse de combustible égale.

Des recherches portent ainsi sur la fusion de deux isotopes de l'hydrogène (deutérium et tritium), portés à des températures de plusieurs millions de degrés. Cette réaction ne permet de produire durablement de l'énergie que si l'on maintient confiné et suffisamment chaud le plasma formé par les noyaux de deutérium, de tritium et les électrons provenant de l'ionisation. Deux possibilités se présentent pour assurer un tel confinement, soit au travers d'un champ magnétique, soit par des impulsions de faisceaux laser.

En janvier 2016, 56 réacteurs nucléaires sont en service en France, 14 autres réacteurs ayant été définitivement arrêtés. Ils ont permis de produire 415,9 TWh en 2014, soit 77% de l'ensemble de la production électrique française.



Informations complémentaires :

Acteurs majeurs, le CEA, organisme public de recherche, a été à l'origine de la création de Framatome et de Cogéma (qui ont fusionné en 2001 pour devenir Areva puis Orano en 2018), de l'Andra en 1979 (gestion des déchets radioactifs) et de l'IRSN (sûreté, issu de l'IPSN en 2001). En 2009, le CEA a vu son domaine d'activité s'étendre et est devenu Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives.

À l'échelle mondiale, 392 réacteurs sont en service.