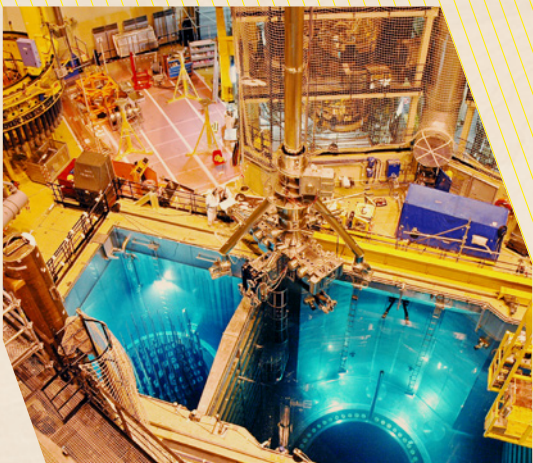


LES CENTRALES SONT-ELLES SÛRES ?



© EDF - Francis Charlema

© ASN et IRSN — sous la direction de : Geneviève Beaumont, Emmanuel Bouchot, Olivier Javay
Conception : Âme en science, La-fabrique-créative, Phélixon consultant — Illustration : B2 Infographie — Dessin de la mascotte : Thomas Caballé
Reproduction interdite sans l'accord de l'ASN/IRSN

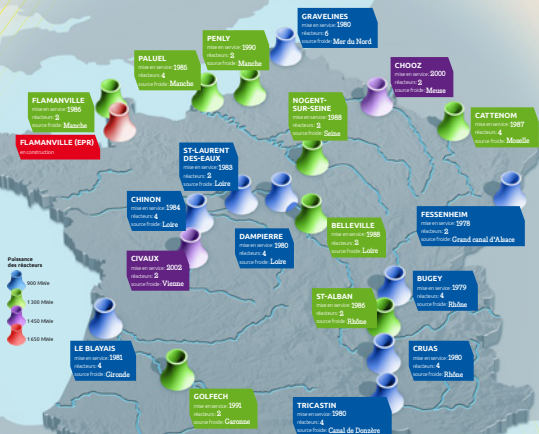


2 | 1 +

LE NUCLÉAIRE EN FRANCE

Dans le monde, plus de **440 RÉACTEURS** nucléaires produisent environ **10 % DE L'ÉLECTRICITÉ MONDIALE**.

Cette part atteint **30 % en Europe** et plus de **75 % EN FRANCE**, qui compte **58 RÉACTEURS NUCLÉAIRES**.



© Les Fabriques d'Industrie / Bureau d'Ingénierie d'Agence Laurent Delpierre / 10/11 Octobre 2013



Les centrales nucléaires produisent d'énormes quantités d'électricité de façon continue. Elles comportent des risques qu'il faut maîtriser et génèrent des déchets.

En débat

Pour ou contre les centrales nucléaires ?



Certains disent que le nucléaire assure un prix compétitif à l'énergie

électrique produite ; que c'est une source d'énergie qui n'émet quasiment pas de CO₂ ; que des exigences strictes encadrent la sûreté des installations nucléaires ; que les incidents sont déclarés et analysés pour en tirer les leçons.



D'autres rappellent que des accidents graves ont déjà eu lieu en dépit des contrôles ;

ces accidents ont contaminé l'environnement et induit des risques pour la santé. De plus, le coût du démantèlement des installations et du stockage des déchets nucléaires inquiète. Enfin, certains déchets devront être stockés pendant des milliers d'années posant la question de la sûreté et de la transmission des connaissances et compétences aux générations futures.

Comme pour toute activité à risque, la sûreté de l'exploitation et du démantèlement des installations doit être réglementée, expertisée et contrôlée rigoureusement et en toute indépendance.

22+

LA FISSION DE L'ATOME ET SES RISQUES

Le mot atome vient du grec *Atomos*, qui signifie « ne peut être divisé ». Et pourtant ! **LES ATOMES PEUVENT BIEN ÊTRE CASSÉS.**

Ce phénomène, appelé **FISSION NUCLÉAIRE**, produit une intense chaleur qui peut être convertie en électricité dans une centrale nucléaire mais il comporte des risques intrinsèques : l'emballement de la réaction en chaîne et la dispersion d'atomes radioactifs, les produits de fission.

Le cas de l'uranium 235

Lorsqu'un noyau d'uranium 235 est bombardé par un neutron, il casse.

C'est la fission nucléaire d'un atome qui engendre toujours trois phénomènes :

De la chaleur est produite

On capte la chaleur pour la transformer en électricité.

La fission libère à l'échelle de l'atome une énergie sans commune mesure avec les autres sources d'énergie : 1 g d'uranium enrichi produit 100 000 fois plus d'énergie qu'1 g de charbon.



Un neutron bombarde un noyau d'uranium

Deux ou trois neutrons sont projetés

Ils le sont avec une telle énergie qu'ils peuvent à leur tour casser d'autres noyaux, libérant d'autres neutrons : une réaction en chaîne peut ainsi se produire qui doit impérativement être maîtrisée.

Dans le cas d'une bombe atomique, l'emballement de la réaction en chaîne est recherché afin de produire le maximum de dégâts.

Dans une centrale au contraire, des barres de contrôle et de l'eau bouillante permettent d'absorber les neutrons afin de contrôler la réaction.

Un peu d'histoire

1938
La fission nucléaire a été découverte par l'Allemand Otto Hahn et son assistant Fritz Strassmann avec la contribution d'une physicienne autrichienne, Lise Meitner.

1947
Pile Zoel, premier réacteur expérimental français.

1956
En France, à Marcoule, premier réacteur français producteur d'électricité. Réacteur uranium naturel-graphite-gaz (UNGG).

1977
Mise en service du réacteur n°1 de la centrale de Fessenheim (Alsace). Réacteur à eau pressurisée (REP).



Quand on casse un atome, cela dégage une énergie énorme. C'est la fission nucléaire. Dans une centrale nucléaire, le phénomène ne doit pas s'emballer, il faut le contrôler. Il faut également gérer les produits issus de la réaction : les confiner, les refroidir, et les stocker.

Les débris de l'atome originel restent.

Ce sont toutes sortes de nouveaux corps radioactifs qui sont ainsi créés. Leur nature chimique est aléatoire : elle dépend de la façon dont les 92 protons se sont répartis dans les deux morceaux résultant de la cassure.

Ces produits de fission sont radioactifs car le nombre de leurs neutrons a peu de chance d'être celui des corps naturels. Rayonnants, ils peuvent chauffer la matière dont ils sont indissociables. Il faut les refroidir. Ils constituent des déchets radioactifs qu'il faudra stocker et éventuellement retraiter. Il faut absolument les confiner pour qu'ils ne s'échappent pas dans l'environnement. C'est ce qui pourrait se produire en cas d'accident.

2 | 3 +

LE FONCTIONNEMENT D'UNE CENTRALE NUCLÉAIRE

Sur le principe, une centrale nucléaire peut être comparée à **UNE GIGANTESQUE COCOTTE-MINUTE**. La vapeur d'eau créée par la chaleur de la fission nucléaire entraîne des turbines qui, grâce à l'alternateur, produisent de l'électricité.

Le combustible nucléaire

Le combustible est placé dans une cuve en acier remplie d'eau. Chaque seconde, des milliards d'atomes cessent de se décomposer en libérant énormément d'énergie. Cette chaleur chauffe l'eau du circuit primaire qui est portée à plus de 300 °C.

Générateur de vapeur

L'eau brûlante du circuit primaire chauffe celle du circuit secondaire qui est transformée en vapeur.

Pompes primaires

Elles font circuler l'eau qui refroidit le combustible.

La cuve

Avec ses 15 cm d'épaisseur d'acier, elle emprisonne les 40 tonnes de combustible contenues dans des assemblages de tubes, remplis de pastilles d'oxyde d'uranium.

Les hommes aux commandes

Des opérateurs pilotent le fonctionnement de la centrale grâce à des milliers de capteurs. Ils activent des vannes et des pompes.

Refroidir même à l'arrêt

Les résidus de la fission continuent à libérer beaucoup de chaleur même lorsque le réacteur est arrêté et qu'il n'y a plus de réaction en chaîne.

La régulation

La chaleur produite par le combustible est régulée par les barres de commande. Cela permet d'adapter la production d'électricité à la demande des consommateurs.

La turbine et l'alternateur

La pression de la vapeur fait tourner la turbine qui entraîne l'alternateur produisant l'électricité qui est transportée dans des lignes à très haute tension.

Cette grande tour participe au refroidissement de l'eau. Elle n'est pas reliée aux centrales situées en bord de mer ou à proximité de fleuves à fort débit.

Circuit PRIMAIRE
L'eau de ce circuit ne sort jamais du réacteur.

Circuit SECONDAIRE
Le refroidissement de l'eau de ce circuit change d'état et passe successivement de l'état liquide à l'état gazeux.

Circuit TERTIAIRE
Le refroidissement de l'eau de la rivière pour refroidir le condenseur.

Le condenseur

Après son passage dans la turbine, la vapeur est refroidie, retransformée en eau et renvoyée vers le générateur de vapeur pour un nouveau cycle.

Une centrale nucléaire ressemble à une grosse cocotte-minute. De nombreux systèmes de sécurité veillent à ce qu'elle ne chauffe pas trop.



LA SÛRETÉ D'UNE CENTRALE NUCLEAIRE

Faire baisser la pression en cas d'accident

En fonctionnement, l'eau est à 155 bars. S'il y a une fuite, la pression monte dans le bâtiment du réacteur et pourrait conduire à la perte de l'étanchéité. Dans ce cas, un circuit d'eau froide se déclenche, faisant baisser la pression en aspergeant le réacteur de fines gouttelettes.



Contrôler la réaction en chaîne

Des barres de contrôle et de l'eau borée permettent de contrôler la réaction en chaîne. Les barres arrêtent immédiatement le réacteur en cas de dysfonctionnement ou de séisme.



Confiner les produits de fission radioactifs

Les gazes de fission qui entourent le combustible et la cuve du réacteur forment deux barrières. De plus, le bâtiment du réacteur lui-même sert de troisième barrière. Une enceinte en béton précontraint pourvue d'une peau en acier équipe les réacteurs 900 MW. Sur les réacteurs plus puissants, une double paroi de béton assure l'étanchéité.



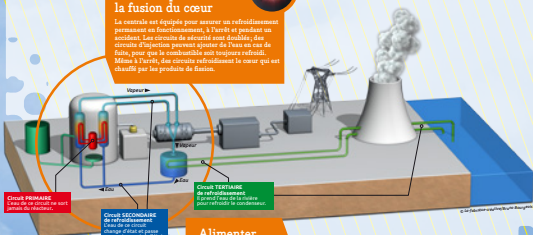
Dépressuriser en cas d'urgence absolue

Si trop de pression menace l'étanchéité du bâtiment, on dépressurise en ouvrant ce circuit. C'est l'ultime recours car il rejette les produits de fission dans l'environnement par une cheminée après les avoir filtrés.



Refroidir pour éviter la fusion du cœur

La centrale est équipée pour assurer un refroidissement permanent en fonctionnement, à l'arrêt et pendant un accident. Les circuits de sécurité sont doublés; des circuits d'injection peuvent ajouter de l'eau en cas de fuite, pour que le combustible soit toujours refroidi. Même à l'arrêt, des circuits refroidissent le cœur qui est chauffé par les produits de fission.



Alimenter l'ensemble des systèmes de sûreté

Des groupes électrogènes de secours permettent de faire fonctionner les pompes, les instruments de mesure et les vannes en cas de panne d'électricité.

Depuis l'accident de Fukushima, en France, les experts de l'IRSN ont préconisé l'adjonction de nouveaux systèmes de sûreté : « le noyau dur ». L'ASN a imposé l'installation de nouveaux équipements dans les centrales: centres de gestion de crise « bunkerisés », groupes électrogènes de secours supplémentaires...

Tous ces circuits de sûreté sont vérifiés par les travailleurs des centrales, contrôlés par les inspecteurs de l'ASN et experts par l'IRSN.



25+

DES CENTRALES ET DES HOMMES

Près de **30 000 PERSONNES** travaillent dans les centrales nucléaires en France. Plus de **300 000** y sont liées, directement ou indirectement.

L'homme au cœur de la sûreté

Toutes sortes de métiers sont impliquées: robinetiers, ingénieurs, électriciens etc. La prise en compte des facteurs organisationnels, sociaux et humains est donc cruciale.

Management, formation, documents et méthodes de travail sont au cœur des préoccupations. Par exemple, chaque opérateur est formé pendant deux ans à la conduite des réacteurs et retourne chaque année en stage où il révise la conduite en cas d'accident.

Dans les centrales nucléaires, l'inspection du travail est assurée par l'ASN.

La sous-traitance

Les travaux réalisés sur les sites nucléaires sont assurés à 80 % par des prestataires. Par exemple, lors des travaux de maintenance sur une centrale, les « arrêts de tranche », environ un millier de personnes réalisent plus de 10 000 interventions, organisées et planifiées par EDF.

Les sous-traitants sont formés à la radioprotection. Les contrôles et les vérifications font partie des règles de qualité.

La protection des travailleurs du nucléaire

Les travailleurs du nucléaire sont plus exposés aux rayonnements que les autres citoyens. La limite légale de dose de radioactivité qu'ils peuvent recevoir chaque année est fixée à 20 millisieverts au lieu de 1 millisievert pour le grand public.

Ils portent des dosimètres pour les avertir des doses ambiantes et calculer la dose reçue. Ils passent des visites médicales régulièrement.

Les études épidémiologiques faites sur la santé du personnel du CEA, d'EDF et d'Areva montrent qu'ils ont une santé équivalente à celle du personnel des grandes entreprises françaises.

Les risques liés à la malveillance

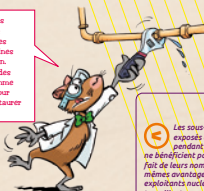
Les installations nucléaires et les transports de substances radioactives peuvent être la cible d'actes de malveillance. Les installations sont protégées par :

- la lutte antiterroriste, la sécurité des avions, les interdictions de survol des sites nucléaires.
- le renforcement des infrastructures et bâtiments.
- la mise en place de procédures et moyens d'intervention permettant de limiter les conséquences possibles d'une attaque. Ces sujets sont examinés conjointement par l'ASN et le Haut fonctionnaire de défense et de sécurité du ministère de l'énergie, avec l'appui de l'IRSN.



BILAN SANTÉ DES TRAVAILLEURS
www.irsn.fr/bilan-travailleurs/

80 % des incidents déclarés en France ont pour origine des défaillances humaines ou de l'organisation. Mais dans 100 % des cas le rôle de l'homme est déterminant pour comprendre et restaurer la situation.



En débat

La sous-traitance



Les sous-traitants disent qu'ils sont exposés à 80% des doses reçues pendant la maintenance, alors qu'ils ne bénéficient pas du même suivi médical du fait de leurs nombreux déplacements, ni des mêmes avantages que le personnel des exploitants nucléaires pour lesquels ils travaillent.



Le nombre de niveaux de sous-traitance a inquiété les autorités: jusqu'à 7 niveaux de sous-traitance ont pu être rencontrés.



Les exploitants disent que les travaux sur les pompes, les vannes, les automatismes etc. demandent des savoir-faire que seuls des sous-traitants possèdent.



Depuis, des règles ont été imposées, notamment la sous-traitance a été limitée à 3 niveaux. De plus, l'exploitant doit conserver la maîtrise des opérations qu'il sous-traite.

LES CONTRÔLES À CHAQUE ÉTAPE DE LA VIE D'UNE CENTRALE

De la conception jusqu'au démantèlement, la vie d'une centrale est régie par **UN ENSEMBLE DE PROCÉDURES STRICTES**.

L'EXPLOITANT

(AREVA, CEA, EDF)

Il demeure le **premier responsable** de la sûreté de son installation.

L'ASN

(Autorité de sûreté nucléaire)

Elle est chargée de contrôler, d'autoriser et de réglementer la sûreté des installations.

L'IRSN

(Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire)

Il est responsable de l'évaluation scientifique et technique de la sûreté mise en œuvre par les exploitants.

CONSTRUCTION

Dès la conception de l'installation, l'ASN et l'IRSN vérifient que tous les scénarios d'accidents possibles sont pris en compte (rupture de tuyau,

panne de vannes ou de pompes, perte d'électricité dans la salle de commande...), y compris ceux liés à des agressions externes (tremblement de terre, inondation...). Ils vérifient que les dispositifs et équipements de secours prévus dans le dossier de sûreté sont capables d'éviter les conséquences des accidents.

Lorsque l'installation est construite, l'ASN et l'IRSN vérifient que ce qui est réalisé est conforme à ce qui a été prévu dans le dossier de sûreté et que les tests avant mise en service sont concluants.



Construction du réacteur à Pression Tempérée (CSTP)



Contrôle de la chambre de réaction

À tout moment, de nouveaux travaux peuvent être exigés par l'ASN pour améliorer le niveau de sûreté en prenant en compte le retour d'expérience national et international. Par exemple, de nouveaux dispositifs ont été installés pour limiter le risque d'explosion de l'hydrogène et pour palier les avaries de certains réacteurs en cas d'accident.

En fonctionnement normal, les rejets des installations dans l'environnement sont strictement encadrés par l'ASN.

L'IRSN fait des mesures dans l'environnement proche de l'installation afin d'évaluer les produits agricoles pour vérifier le niveau de radioactivité.

EXPLOITATION

Lorsque l'installation est mise en service, l'ASN et l'IRSN vérifient que la conduite et l'entretien de l'exploitation sont conformes aux procédures. L'IRSN et l'ASN analysent l'activité de l'exploitant et les incidents déclarés.

Les installations font l'objet d'inspections régulières de la part de l'ASN. Tous les 10 ans, l'ASN et l'IRSN s'assurent que l'installation est en conformité avec les exigences de sûreté en imposant de nombreux contrôles comme la mise en pression du bâtiment pour vérifier son étanchéité. À cette occasion, les exigences de sûreté sont revues à la hausse.



Démantèlement d'une installation nucléaire

DÉMANTELEMENT

Une fois la période d'exploitation terminée, il s'ensuit un processus de déconstruction **étroitement surveillé** qui dure une trentaine d'années:

- 1] Les combustibles sont retirés et les circuits d'eau vidangés.
- 2] Les installations sont partiellement démontées : les principaux composants du circuit primaire sont isolés et enfermés dans des structures en béton.
- 3] Environ 10 ans plus tard, le temps de réduire la radioactivité de l'installation, elle est complètement démontée. Les matériaux et équipements radioactifs sont évacués. Le site est remis dans son état initial ou utilisé pour une autre installation.

LES RISQUES NATURELS

Une centrale nucléaire possède des systèmes de **SÛRETÉ** renforcés. Elle doit pouvoir résister à des **AGRESSIONS NATURELLES EXTRÊMES**.

Des aléas naturels

Des incidents atypiques peuvent survenir et enrichir le retour d'expérience. En 2009, à Cruas (Ardèche), la crue du Rhône avait charrié des végétaux qui ont obstrué la station de pompage. En 2006, ce sont des méduses - les « grosselles de mer » - qui provoquent l'arrêt du réacteur en bloquant le circuit de refroidissement de la centrale de Gravelines. L'ASN veille à ce que les exploitants entreprennent les études et travaux de protection nécessaires.

Retour d'expérience international

Les événements nationaux et internationaux sont pris en compte systématiquement. Par exemple, depuis le retour d'expérience de l'accident de Fukushima, le dimensionnement du « noyau dur » des installations nucléaires prend en compte les niveaux des séismes observés jusqu'à 20 000 ans auparavant.

Raz-de-marée, tempêtes, inondations

En 1956, une tempête violente a provoqué une inondation à la centrale nucléaire du Blayais. À la suite de cet événement, des révisuels, pour chaque centrale nucléaire, son risque d'inondation. Cette réévaluation passe par exemple sur la hauteur d'eau maximale prise en compte pour dimensionner les digues.

Les tremblements de terre

Même si la France est un pays peu sismique, ce risque est pris en compte. Les installations nucléaires françaises sont soumises à des règles de construction parasismique renforcées par rapport aux bâtiments courants.

Une règle définit une valeur maximum que doit pouvoir supporter une centrale. Elle se fonde sur le plus grand séisme jamais connu dans la région de la centrale, auquel on ajoute une marge de sécurité. Les normes sont révisées continuellement avec le progrès des connaissances et les avancées des technologies antisismiques.

Températures extrêmes

Une centrale nucléaire doit être refroidie en permanence à l'aide d'une source d'eau. Une sécheresse, un fort épisode printanier de gel, ou encore une canicule peuvent être problématiques.

La protection des installations vis-à-vis des températures extrêmes et de la sécheresse est donc révisée tous les dix ans. Les hypothèses et les surfaces évolutives en fonction de l'état des connaissances scientifiques. L'ASN et l'ISN ont essaié une veille dans ce domaine.

En débat

Face aux risques rares et extrêmes

Les centrales nucléaires françaises sont conçues pour faire face au séisme le plus fort déjà survenu dans son voisinage. À Fessenheim, la plus ancienne centrale en service (1977), le séisme de référence est celui de Bâle en 1356. La magnitude de ce séisme a été évaluée à 6,2 sur l'échelle de Richter. Pour calculer la résistance de l'installation, on a appliqué une majoration de 0,5 et considéré que le séisme avait lieu sur le site. Les risques d'inondation sont aussi évalués en tenant compte de la crue millénaire majorée de 15% ; la hauteur des digues autour des sites en tient compte.

Néanmoins, on ne peut jamais avoir de certitude. Ainsi, le niveau de séisme à prendre en compte à Fessenheim peut évoluer à la hausse en fonction de l'avancée des connaissances sur le séisme de Bâle et les autres séismes de la région. Les tempêtes inédites du 26 décembre 1999, ont conduit à une crue très importante sur la Gironde. L'eau a dépassé les digues du site du Blayais et noyé le bas des bâtiments réacteurs. Depuis les digues ont été rehaussées sur tous les sites présentant ce risque.

Tout est fait dans les centrales pour anticiper les catastrophes. Le défi est de prévoir l'imprévisible !



LE VIEILLISSEMENT DES INSTALLATIONS

Comme toute autre **INSTALLATION INDUSTRIELLE**, les centrales nucléaires sont sujettes au vieillissement. Il est nécessaire d'en **MAÎTRISER LES RISQUES**.



Tous les 10 ans, chaque centrale nucléaire française passe une sorte d'examen médical approfondi pour vérifier et améliorer sa santé.

900 MW
Nombre de puissance des réacteurs en cours
Date de mise en service
Âge en 2009

1999 > 21

1997 > 23

1996 > 24

1993 > 27

1992 > 28

1991 > 29

1990 > 30

1988 > 32

1987 > 33

1986 > 34

1985 > 35

1984 > 36

1983 > 37

1982 > 38

1981 > 39

1980 > 40

1979 > 41

1978 > 42

1977 > 43

En  débat

LES CENTRALES D'EDF SONT-ELLES TROP VIEILLES ?

➔ Après chaque visite décennale, l'ASN fixe les conditions nécessaires à la poursuite de l'exploitation pour 10 ans supplémentaires. Une centrale peut être arrêtée pour des raisons de sûreté, par exemple si l'exploitant détecte un problème grave ou considère que les travaux demandés sont trop coûteux.

➔ Une majorité de réacteurs français ont été construits entre 1977 et 1984. L'apparition de défauts génériques graves sur des matériels irremplaçables pourrait causer l'arrêt en chaîne de nombreuses centrales dans un temps relativement court.

En  débat

QUELLE EST LA DURÉE DE VIE D'UNE CENTRALE ?

➔ Dans certains pays, les autorisations d'exploitation des centrales nucléaires sont données pour une durée limitée. Aux États-Unis, cette durée est en principe de 40 ans, mais des extensions sont possibles.

➔ Dans d'autres pays, comme la France, l'autorisation d'exploiter une installation nucléaire ne précise aucune limite dans le temps. Mais en contrepartie, les centrales sont soumises tous les 10 ans à une visite technique approfondie. Son but est de vérifier la sûreté et d'apporter des améliorations techniques. L'ASN considère que la poursuite du fonctionnement des réacteurs d'EDF au-delà de 40 ans n'est envisageable que si elle est associée à un programme ambitieux d'amélioration. Elle insiste pour que les objectifs de sûreté tendent vers ceux des nouveaux réacteurs, tel l'EPR.

En  débat

MAÎTRISE-T-ON L'USURE DES MATÉRIAUX ?

➔ Dans un réacteur nucléaire, la cuve, l'enceinte de confinement et certains câbles électriques sont des composants irremplaçables. Ils se dégradent inévitablement avec le temps.

➔ L'IRSN étudie les principaux mécanismes de dégradation : altération du béton de l'enceinte de confinement, évolution des défauts des aciers de la cuve, oxydation des plastiques de revêtement des câbles. Ces dégradations sont prises en compte dès la conception et la fabrication puis dans un programme de maintenance préventive. Le but est de garder une image précise de l'état de fiabilité des matériaux et de rester maître du risque lié à l'usure.

En  débat

LES MATÉRIELS PEUVENT-ILS SE PÉRIMER ?

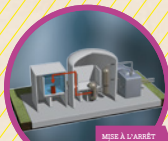
➔ Les matériels importants pour la sûreté font l'objet d'une qualification : leur tenue ou fonctionnement est garanti en cas d'accident. Ils font l'objet d'une maintenance périodique qui veille au remplacement des pièces et au maintien de leur fiabilité.

➔ L'arrêt de la fabrication de certains composants ou la disparition de leur constructeur peuvent conduire à des difficultés. L'exploitant doit être en mesure de remplacer la pièce. Tout remplacement de pièce, par un nouveau modèle ou un nouveau fournisseur, doit faire l'objet d'une qualification préalable.

LE DÉMANTÈLEMENT

Même arrêtée **DÉFINITIVEMENT**, une centrale nucléaire continue de présenter des **RISQUES**.
Il faut la démanteler selon un scénario bien **PRÉCIS**.

Scénario et durée estimée d'un démantèlement sous eau d'un réacteur (stratégie choisie pour le réacteur A de Chinon).



MISE À L'ARRÊT DÉFINITIF

Le combustible est déchargé du cœur du réacteur. Il va refroidir pendant quelques années dans la piscine d'entreposage.

Pourquoi ne pas attendre que la radioactivité disparaisse ?

Cette incertitude sur l'exploitant nucléaire procède du démantèlement de son installation le plus rapidement possible après sa mise à l'arrêt. Une période d'attente contribue certes à une diminution de la radioactivité par décroissance, mais comporte des inconvénients : vieillissement des structures, perte d'expertise de confinement, perte de connaissances techniques, charge du démantèlement sur les générations futures.

Les enjeux spécifiques du démantèlement d'une centrale

Lors du démantèlement d'une centrale nucléaire, l'ASN veille en particulier à :

- 1. La protection des travailleurs**
Les scénarios sont élaborés pour protéger les travailleurs. Si le risque d'exposition est trop fort, le travail se fait à distance avec des robots.
- 2. La gestion des déchets radioactifs**
Ils sont produits en quantité plus importante que lors de la phase d'exploitation et sont de nature différente car les équipements et structures sont activés ou contaminés. Des filières doivent être disponibles pour évacuer les déchets.
- 3. La disponibilité des moyens financiers**
Il faut assurer la disponibilité du budget nécessaire au démantèlement.

La durée et le coût d'un démantèlement

La durée minimale totale du démantèlement d'une centrale est estimée à une vingtaine d'années.

À cause du manque de retour d'expérience, les coûts sont encore mal estimés. De plus les méthodes de calcul peuvent être très différentes.

ENVIRON 2 ANS APRES

Le combustible est envoyé à l'usine de La Hague pour traitement. L'un des circuits primaires est vidangés. Le circuit de vapeur d'eau et la turbine sont démontés.

ENVIRON 5 ANS APRES

Les opérations de démontage commencent dans le bâtiment du réacteur hormis la cuve du réacteur.

ENVIRON 10 ANS APRES

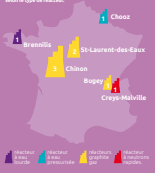
La cuve du réacteur est noyée afin de limiter les radiations pendant les opérations de démantèlement sur la cuve du réacteur. Puis, la cuve et les structures internes du réacteur sont démantelées.

20 À 30 ANS APRES

Le site est assaini : soit les bâtiments sont conservés pour un éventuel usage ultérieur, soit ils sont détruits.

Les démantèlements en cours

Les opérations de démantèlement diffèrent selon le type de réacteur.



En débat

Le coût du démantèlement

La France n'a pas encore l'expérience d'un démantèlement complet sur les réacteurs à eau pressurisée (REP). Cependant, EDF intègre dans le prix du kilowatt-heure le coût estimé du démantèlement.

Un récent rapport de la Cour des comptes montre que le coût effectif du démantèlement dépasse les prévisions initiales. Certaines associations s'inquiètent du coût final du démantèlement et de son financement.



Arrêter définitivement une centrale nucléaire ne la fait pas disparaître par magie. Le processus de démantèlement est long, délicat et coûteux.

QUELLES CENTRALES DEMAIN ?

À long terme, maîtriser l'énergie des étoiles

La fusion est le phénomène à l'œuvre dans les étoiles, comme notre soleil.

ITER est une installation expérimentale en construction de type tokamak pour étudier la faisabilité des réacteurs de fusion. Leur fonctionnement repose sur le principe de fusion thermonucléaire, alors que les réacteurs actuels utilisent la fission.

Le projet associe de nombreux pays : ceux de l'Union européenne ainsi que l'Inde, le Japon, la Chine, la Russie, la Corée du Sud, les États-Unis.

La fusion thermonucléaire

Dans le processus de fission, on casse des atomes en plusieurs morceaux en les bombardant de neutrons.

Dans le processus de fusion, c'est l'inverse qui se produit : on comprime la matière avec une telle force, que deux atomes s'assemblent en un seul.

Les deux processus physiques libèrent de l'énergie mais la réaction de fusion a le double avantage théorique :

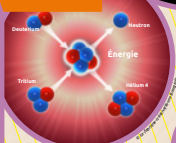
- de ne pas engendrer de sous-produits radioactifs de haute activité à vie longue ;
- d'utiliser un carburant qui peut être extrait de l'eau, une ressource très abondante.

Difficile d'entretenir une réaction de fusion très longtemps

Contrairement à la fission qui est entretenue par la réaction en chaîne, il faut apporter dans la fusion énormément d'énergie pour rapprocher les atomes les uns des autres. Pour avoir de la chaleur en vue de produire de l'électricité, il faut donc :

- que le bilan entre l'énergie libérée et l'énergie fournie soit positif
- que la fusion perdure.

Jusqu'à présent, le bilan positif a été maintenu pendant quelques minutes.



Source : Institut de physique de l'Université de Bordeaux

Tokamak
du projet iter

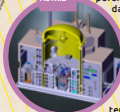
À moyen terme, les réacteurs de 4^e génération

Les promoteurs de ces projets espèrent démontrer leur faisabilité dans la prochaine décennie. Aujourd'hui, la Chine a démarré la construction d'un prototype de réacteur à haute température (HTR-PM), présenté comme un premier pas vers la construction d'un réacteur à très haute température (VHTR). Un prototype de réacteur à refroidissement au plomb doit aussi être construit en Russie à partir de 2020. La France (projet ASTRID) et la Russie développent des projets de réacteurs rapides à refroidissement au sodium ; ils reprennent les principes de fonctionnement des réacteurs Phenix et SuperPhenix.

Pour leurs promoteurs, ces projets présentent l'avantage de consommer le plutonium.

Pour l'ASN, cette nouvelle génération de réacteurs devra apporter un gain de sûreté significatif par rapport à la troisième génération de réacteurs de type « EPR ».

Projet
ASTRID



En débat La fusion

Est-elle réaliste ?

On apporte l'énergie nécessaire à la fusion en comprimant la matière à l'aide d'un champ magnétique d'une puissance colossale générant un plasma ou encore à l'aide des lasers les plus puissants. Il faut énormément d'énergie. De plus, ces systèmes sont très sophistiqués et extrêmement coûteux.

Certains pensent que la fusion n'est pas réaliste et qu'elle ne sera jamais rentable.

Le principe de la fusion par confinement magnétique a déjà été démontré. L'allumage, c'est-à-dire la faisabilité de la réaction de fusion a été prouvée dans plusieurs tokamaks dans le monde. Iter devrait démontrer un temps de maintien de la réaction plus long que dans ces installations.

Est-elle vraiment propre ?

La réaction de fusion ne génère pas de sous-produits radioactifs. Un réacteur à fusion ne produirait donc pas les mêmes déchets nucléaires que les centrales actuelles (produits de fissions, actinides etc.) mais des déchets tritiés de plus faible activité et de moins longue durée de vie.

La réaction de fusion nécessite du tritium, corps radioactif (environ 4 kg dans Iter). Les neutrons activent les structures métalliques du tokamak. Ces structures activées sont une source de déchets qui s'ajoutent aux déchets tritiés. Le volume total de déchets sera plus important que celui d'un réacteur actuel mais n'aura pas une haute activité. Par ailleurs, ces structures métalliques activées conduisent à des débits de dose tels que toute intervention humaine est impossible. Il faut robotiser toutes les opérations de maintenance.

Récréer une étoile sur terre, ça fait rêver... mais est-ce vraiment possible ?

