

# Centrales

## Quand EDF prend ses désirs pour des réalités

Pour aborder au mieux la fin programmée de son monopole, EDF a décidé d'allonger jusqu'à 40 ans la durée d'exploitation de ses centrales. Pourtant, ce n'est pas lui qui peut dire si elles peuvent rester fiables si longtemps. Notre dossier.

Par Vincent Gaullier

### > ENJEUX

Pour EDF, démontrer que ses centrales nucléaires peuvent "tourner" jusqu'à 40 ans répond à des attentes multiples. Rallonger leur durée de vie, c'est réduire au maximum le poids de l'investissement financier (elles ne sont amorties qu'à 50 %). Être plus compétitif sur le marché de l'électricité qui achèvera de s'ouvrir à la concurrence en 2007. Enfin, limiter son niveau d'endettement. Un signe de bonne santé financière bienvenue à l'heure où le gouvernement veut privatiser l'exploitant historique.



François Roussely

Le 2 octobre dernier, François Roussely, patron d'EDF, réunissait la presse. Et faisait sensation en déclarant que son entreprise avait "été amenée à prendre en compte l'allongement de la durée d'amortissement de ses centrales nucléaires en France de 30 à 40 ans." En clair: alors qu'il tablait jusqu'ici sur une durée d'exploitation de ses installations de 30 ans, EDF affiche désormais sa confiance dans une échéance à 40 ans. Un rabiot de 10 ans qui lui permet d'étaler le remboursement

de ce que lui a coûté la construction de ses 58 réacteurs à eau pressurisée (Rep). Et de mieux se positionner sur le marché mondialisé de l'électricité, vendre des centrales censées durer plus longtemps étant évidemment un atout. Oui, mais il y a loin des désirs comptables à la réalité technologique. Car aujourd'hui, ni François Roussely ni personne n'est en mesure d'affirmer que les installations françaises sont fiables 40 ans durant. Et surtout, ce n'est pas à EDF d'en décider!

# nucléaires



Le réacteur n° 4 de la centrale de Cattenom à l'arrêt lors de sa première "visite décennale".

Pour comprendre, il faut savoir que si Framatome construit des réacteurs conçus, sur le papier, pour durer 40 ans, seuls des contrôles techniques peuvent, dans la pratique, le confirmer. Or, l'EDF exploitant le parc français, ce n'est pas lui, mais l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), véritable gendarme désigné, qui a charge de surveiller les installations. Et de rendre un verdict au terme de révisions complètes organisées tous les dix ans. Des "visites décennales" qui sont un moment crucial dans la vie

d'une centrale. Pendant des mois, le réacteur est mis à l'arrêt, le temps que des centaines de techniciens passent tout au peigne fin, de la cuve du réacteur, et jusqu'au moindre câble.

#### UN PARI SUR LA DURÉE

Alors seulement l'ASN délivre (ou non) une autorisation d'exploitation pour les dix années à venir. Au terme desquels une nouvelle visite décennale a lieu. Et ainsi de suite.

Dans ces conditions, le calcul est vite fait : pour qu'une centrale soit

certifiée 40 ans, elle doit passer avec succès une troisième visite décennale. Ce qui ne s'est encore jamais produit dans l'Hexagone ! Et pour cause : la plus vieille centrale française, Fessenheim (Alsace), a "seulement" 27 ans, tandis que la plus jeune, Civaux (Vienne), a tout juste 2 ans (voir tableau). En fait, la première "troisième visite décennale" aura lieu début 2008, à Fessenheim, donc. Ce n'est qu'à ce moment-là qu'on saura si François Roussely a raison de parier sur la durée. →

→ Mais pour lui, aucun doute, ses centrales obtiendront l'aval de l'ASN. Expertises et efforts de maintenance d'EDF obligent... *"Si nous sommes si confiants, explique Georges Servière, directeur adjoint chez EDF, c'est que nous avons un retour d'expérience de plus de mille années-réacteurs."*

**DES RELATIONS TENDUES**

*"Nous pensons qu'au-delà de 30 ans, nous ne savons rien sur la tenue d'une installation nucléaire, tempère le directeur général adjoint de l'ASN, Alain Schmitt. Pour nous, ce sera à la fin de ces troisièmes visites décennales, et au cas par cas, que nous prendrons une décision pour les dix années suivantes, voire seulement pour cinq ans..."* Une manière de renvoyer François Rousselet à ses certitudes lorsqu'il déclarait sa décision *"conforme à la norme IAS 16"*. Loin d'être une norme de technique, cette norme est en effet... comptable. Rien à voir avec une mise en conformité avec les critères garantissant la sûreté nucléaire.

Il faut dire qu'entre EDF et l'ASN, les relations sont de plus en plus tendues. A tel point que dans son dernier rapport, rendu public le 1<sup>er</sup> avril 2003, l'Autorité se demande *"si les moyens engagés par EDF sont à la hauteur des objectifs qu'il s'est fixés"*... *"Entre 1994 et 1996, racontent aussi Matthieu Schuler et Philippe Merle, de l'ASN, EDF avait annoncé dans divers congrès qu'il*

de fonctionnement. Suivra-t-il l'une des recommandations du rapport parlementaire sur la *"Durée de vie des centrales nucléaires"*, publié en mai 2003, qui préconise de n'assurer désormais de *"visites décennales"* que tous les *"20 ans"*? Une manière de donner de l'air à l'entreprise... mais au risque de la sécurité quand les avancées scientifiques imposent de réexaminer les règles de sûreté et que persistent nombre d'inconnues. Il suffit ici de se rappeler que, le 16 mars 1999, des défauts sur le réacteur n° 1 de la centrale de Tricastin (Drôme) étaient découverts lors d'une visite décennale. Défauts que seule une inspection poussée pouvait repérer... Et que le réacteur de Chooz A, dans les Ardennes, dut être fermé en 1991 après seulement 24 années d'exploitation. La raison? *"Un vieillissement prématuré de sa cuve"*, selon l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire... De quoi faire réfléchir le législateur.

EDF y croit pourtant. Et pour mettre les chances de son côté, il va devoir gonfler son budget maintenance. Par 2 ou 3 pour assurer ces *"dépenses de jouvence"*, estimait en 2000 un rapport commandé par le Premier ministre. Cela suffira-t-il? Pourtant, avec des normes de sûreté toujours plus exigeantes, l'usure inéluctable des matériaux, voire les aléas du climat (voir encadré p. 78), des chantiers de maintenance à répétition sont à prévoir...

**C'est seulement après les 3<sup>es</sup> visites décennales qu'on saura si EDF a raison**

*n'y avait pas de souci avec les cuves françaises au moins jusqu'à l'échéance de 40 ans"*. Or, après examen du dossier, l'ASN a confirmé l'échéance de... 30 ans. Pas 40, n'en déplaise à EDF.

Que va-t-il se passer maintenant? Avant la fin de la session parlementaire de printemps, un projet de loi d'orientation sur les énergies devrait évoquer ces questions d'autorisations

Au final, la vérité se trouve dans les mille et un détails qui menacent une centrale: compression du béton, ductilité de l'acier, résistance des câbles... Autant de questions qui mobilisent les scientifiques. Car c'est de l'accumulation d'infimes dysfonctionnements que peut surgir l'enfer. EDF parie qu'il saura faire front. Nous avons mené l'enquête. Revue de détails. ■

**59 RÉACTEURS (-1) À L'ÉPREUVE DU TEMPS**

Pour qu'une centrale dure 40 ans, elle doit passer avec succès la 3<sup>e</sup> visite décennale (VD). Or, aucune centrale française n'a encore l'âge de la tenter. 19 ont passé la 2<sup>e</sup> VD, 33 la 1<sup>re</sup> VD. Et une a déjà été fermée.

RÉACTEUR (puissance en MWe)	Mise en service	Autorisée jusqu'en...	Nbre de VD
BELLEVILLE-1 (1300)	1988	2009	1
BELLEVILLE-2 (1300)	1989	2009	1
BLAYAIS-1 (900)	1981	2012	2
BLAYAIS-2 (900)	1983	2013	2
BLAYAIS-3 (900)	1983	2004	1
BLAYAIS-4 (900)	1983	2005	1
BUGEY-2 (900)	1979	2010	2
BUGEY-3 (900)	1979	2012	2
BUGEY-4 (900)	1979	2011	2
BUGEY-5 (900)	1980	2011	2
CATTENOM-1 (1300)	1987	2007	1
CATTENOM-2 (1300)	1988	2008	1
CATTENOM-3 (1300)	1991	2011	1
CATTENOM-4 (1300)	1992	2013	1
CHINON B1 (900)	1984	2013	2
CHINON B2 (900)	1984	2006	1
CHINON B3 (900)	1987	2009	1
CHINON B4 (900)	1988	2010	1
CHOOZ A (300)	1967	Fermée(1991)	
CHOOZ B1 (1450)	2000	2010	0
CHOOZ B2 (1450)	2000	2010	0
CIVAUX-1 (1450)	2002	2012	0
CIVAUX-2 (1450)	2002	2012	0
CRUAS-1 (900)	1984	2005	1
CRUAS-2 (900)	1985	2007	1
CRUAS-3 (900)	1984	2004	1
CRUAS-4 (900)	1985	2006	1
DAMPIERRE-1 (900)	1980	2010	2
DAMPIERRE-2 (900)	1981	2012	2
DAMPIERRE-3 (900)	1981	2013	2
DAMPIERRE-4 (900)	1981	2004	1
FESSENHEIM-1 (900)	1977	2008	2
FESSENHEIM-2 (900)	1978	2010	2
FLAMANVILLE-1 (1300)	1986	2007	1
FLAMANVILLE-2 (1300)	1987	2008	1
GOLFECH-1 (1300)	1991	2011	1
GOLFECH-2 (1300)	1994	2004	0
GRAVELINES B1 (900)	1980	2011	2
GRAVELINES B2 (900)	1980	2012	2
GRAVELINES B3 (900)	1981	2011	2
GRAVELINES B4 (900)	1981	2013	2
GRAVELINES C5 (900)	1985	2006	1
GRAVELINES C6 (900)	1985	2007	1
NOGENT-1 (1300)	1988	2008	1
NOGENT-2 (1300)	1989	2009	1
PALUEL-1 (1300)	1985	2006	1
PALUEL-2 (1300)	1985	2005	1
PALUEL-3 (1300)	1986	2007	1
PALUEL-4 (1300)	1986	2008	1
PENLY-1 (1300)	1990	2012	1
PENLY-2 (1300)	1992	2004	0
SAINT-ALBAN-1 (1300)	1986	2007	1
SAINT-ALBAN-2 (1300)	1987	2008	1
ST LAURENT B1 (900)	1983	2005	1
ST LAURENT B2 (900)	1983	2004	1
TRICASTIN-1 (900)	1980	2008	2
TRICASTIN-2 (900)	1980	2010	2
TRICASTIN-3 (900)	1981	2012	2
TRICASTIN-4 (900)	1981	2004	1

SOURCE: EDF, A.I.E.A.

# 2 priorités incontournables

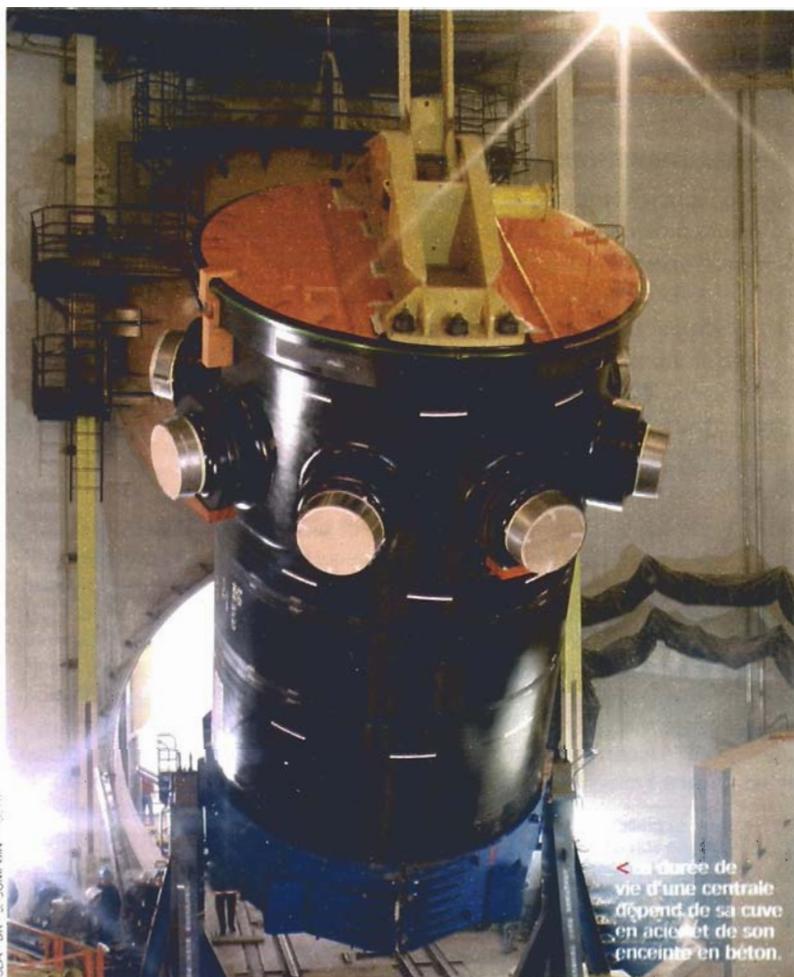
Deux éléments sont impossibles à remplacer dans une centrale : la cuve du réacteur et l'enceinte de confinement. Or, comment résistent-elles avec le temps ? Peuvent-elles durer 40 ans?... La réponse tient à la ductibilité de l'acier et à la compression du béton. Plongée au cœur du comportement des matériaux.

Tout comme le châssis est incontournable dans une voiture, deux éléments sont essentiels dans une centrale, aussi bien pour sa sûreté que pour l'efficacité de son fonctionnement : la cuve du réacteur, dans lequel baigne le combustible radioactif, et l'enceinte en béton qui l'entoure et destinée, d'une part, à contenir la pression des rejets radioactifs en cas d'un accident du réacteur, d'autre part, à protéger la cuve d'éventuelles agressions extérieures – par exemple la chute d'un petit avion. Lors d'une

visite décennale, les inspecteurs du nucléaire les étudient donc en priorité. Car de leur état dépend l'avenir de l'installation : que l'une ou l'autre révèle un défaut, et c'est la mise à la retraite de l'installation ! Et pour cause : ces deux structures "ne peuvent pas être remplacées" ; c'est "techniquement impossible, pour les réacteurs français", dicit les ingénieurs d'EDF eux-mêmes. De fait, la cuve des réacteurs de 1 300 mégawatts électriques (MWe) affiche à la pesée 326 t et présente des mensurations à l'avant : 13 m de haut pour un diamètre de 5 m ! Une monstrueuse Cocotte-Minute, tout en acier. Or, elle est celée dans un puits de cuve fait de béton et de ferrailles. Ce qui hypothèque toute possibilité de remplacement. Même conclusion pour les cuves des réacteurs de 900 MWe...

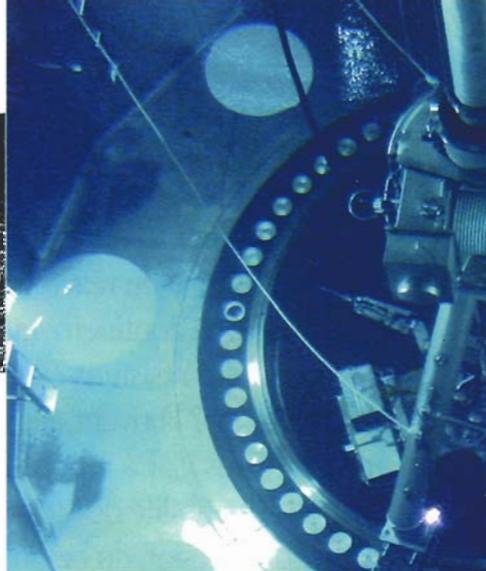
## CONTAMINÉE PENDANT 50 ANS !

Quant à l'enceinte en béton, la détruire pour en construire une autre reviendrait, dans les faits, à un "petit démantèlement". Il faudrait attendre qu'elle "refroidisse". C'est-à-dire que les niveaux de radioactivités des atomes présents dans le béton redescendent à un seuil suffisamment bas, avant que les ouvriers puissent y aller au marteau-piqueur et libèrent un nuage de poussières non contaminantes. Comptez pour cela une cinquantaine d'années ! Les ingénieurs du BTP pourraient aussi imaginer construire autour de l'enceinte défectueuse une autre paroi de béton. Mais un tel jeu de poupées russes apparaît aberrant, aussi bien économiquement que techniquement. Cuve et enceinte sont donc auscultées de très près. Car des menaces pèsent sur elles. Explications.



# LA CUVE

A chaque seconde, le moindre centimètre carré de la paroi de la cuve est frappé par des milliards de neutrons, provenant du combustible radioactif. Il s'ensuit un jeu de billard entre ces particules et les atomes de l'acier de la cuve (voir encadré ci-dessous). Ce qui finit par engendrer des "lacunes" – des vides dans l'alignement des atomes –, qui peuvent former des cavités. Dès lors, le métal devient dur. Donc fragile. Car sa qualité dépend de son "élasticité" (on dit ductile), c'est-à-dire sa capacité à retrouver sa position d'origine après avoir été déformé. Or, l'acier perd sa ductilité en dessous d'une certaine température : entre  $-60$  et  $-10$  °C pour l'acier des cuves. Sauf que le bombardement des neutrons, en modifiant la structure interne de l'acier, élève cette température de transition ductile-fragile. Par exemple, "sur le réacteur n° 1 de la centrale de Fessenheim, elle est montée de  $-30$  à  $+40$  °C après 20 années de fonctionnement", annonce Raymond Sené, membre du Groupement des scientifiques pour l'information sur l'énergie nucléaire. Ce qui pose problème quand la température doit rapidement être abaissée, par exemple lors d'un acci-



▲ A l'intérieur de la cuve d'un réacteur de Chinon, le robot de surveillance MIS a filmé un défaut d'origine (en haut, à g.).

◀ L'irradiation permanente finit par modifier la structure interne de l'acier.

dent avec perte de réfrigérant primaire. C'est d'ailleurs pour cette raison que l'eau d'injection de sécurité est chauffée à Fessenheim..."

## SIX RÉACTEURS HORS NORMES ?

Selon Francis Vouilloux, de l'Institut de radio protection et de sûreté nucléaire, "la centrale de Chooz A, dans les Ardennes, a [même] dû être fermée en 1991 pour une question de température de transition mal maîtrisée." Seulement 24 années de flux de neutrons ont ici eu raison d'une cuve...

D'après EDF et le CEA, le seuil critique pour une température de transition ductile-fragile avoisinerait les  $+80$  °C  $+90$  °C. Quand cette valeur ultime est-elle atteinte ? Après 40 ans, estiment les ingénieurs d'EDF, qui ont étudié des échantillons d'acier placés près du cœur du réacteur. Toutefois, EDF n'a pas voulu nous livrer les résultats de ces modèles de prévision. Secret industriel oblige. Or, d'après nos informations, les  $+80$  °C  $+90$  °C seraient atteints dans six réacteurs... avant 40 ans, comme à Fessenheim, où

## IRRADIÉ, L'ACIER FINIT PAR DEVENIR FRAGILE...

"Voir" à l'échelle du nanomètre (milliardième de mètre) a permis à des laboratoires comme celui du CEA-Saclay de mieux reconstituer l'étonnant phénomène en cascade qui se déroule au cœur d'un échantillon d'acier lorsqu'il est

soumis au bombardement de neutrons du combustible radioactif. Il faut savoir que l'acier est un alliage majoritairement constitué d'atomes de fer et de carbone ordonnés en un maillage dense, le réseau cristallin. Lorsqu'un neu-

tron frappe un atome, celui-ci entraîne dans la "bousculade" d'autres atomes autour de lui. Et ce neutron garde encore suffisamment d'énergie pour aller toucher d'autres atomes...

• 0,7 picoseconde (ps), soit 0,7 millième de

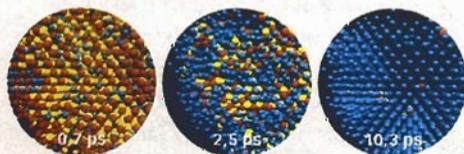
milliardième de seconde, après le début de cette scène, l'essentiel des atomes se retrouvent en équilibre entre deux sites du maillage cristallin (en orange).

• 2,5 picosecondes après la première collision, c'est encore la confusion la plus totale.

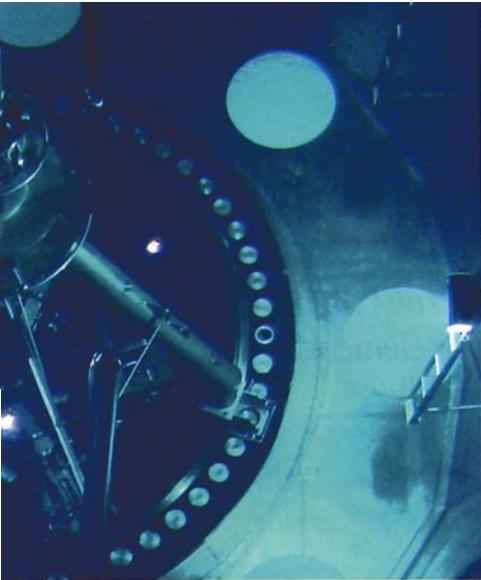
• Mais 10,3 picosecondes après le choc du neutron, l'essentiel des atomes a retrouvé une place, mais pas forcé-

ment celle d'origine...

• Encore quelques dizaines de picosecondes, et c'est le retour à la situation de départ. Dans une cuve de réacteur, sous le flux incessant des neutrons, les emplacements du réseau cristallin vidés de leurs atomes (en jaune) sont de plus en plus fréquents, constituant des "vides" (on dit "lacunes") qui finissent par fragiliser l'acier au fil du temps.



- Site du maillage cristallin vidé de son atome.
- Atome situé entre deux sites du maillage cristallin.
- Atome occupant un site du maillage cristallin différent de celui d'origine.



la température atteindrait alors les 87 °C. Trop juste pour passer le cap de la troisième visite décennale ?

D'autant que la menace est encore plus grande si la cuve, pour des raisons inhérentes à sa fabrication, présente des fissures. Au risque que l'acier rompt à cet endroit. Dans le pire des cas, des produits de fission pourraient être libérés dans l'enceinte de confinement, mettant celle-ci sous pression (voir article ci-contre). Toutefois, pour décider de la fermeture d'une centrale, l'ASN prend en compte et la taille de la fissure et la température de transition. Ainsi, sur la centrale de Tricastin, un défaut de 1,2 cm de profondeur, découvert en 1999, ne s'est pas révélé irrémédiable...

Reste que EDF semble avoir trouvé une solution pour maîtriser la température de transition : en plaçant aux abords de la paroi de la cuve des barres de combustible ayant déjà 1 ou 2 ans ; la quantité de neutrons qui s'en dégage étant moindre, la cuve est ainsi préservée. Ingénieuse, cette solution est déjà mise en place sur certaines centrales. "Mais elle suppose que l'on connaisse les quantités de neutrons reçues par l'acier des cuves, tempère Raymond Sené. Or, on n'en sait rien pour ceux qui ont une énergie inférieure à 1 MeV." Comment être sûr alors que leur très grand nombre n'annihile pas leur moindre énergie ?

## L'ENCEINTE DE CONFINEMENT

Tout autour de la cuve se dresse une impressionnante enceinte de plusieurs dizaines de mètres ! Un véritable sarcophage, réalisé en "béton précontraint" (le béton est maintenu dans un état de compression par des câbles en acier). De la sorte, les qualités d'étanchéité et de résistance aux charges sont multipliées par dix. Tandis que l'apparition de fissures est freinée. Oui, mais avec le temps, les câbles se détendent et le béton flue : sa structure interne se déforme sous l'effort permanent de la précontrainte. Résultat, la compression du béton diminue...

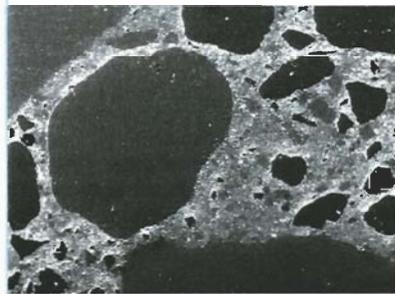
### DES FAILLES DANS L'ÉTANCHÉITÉ

L'impact de cette évolution est surtout problématique pour l'étanchéité de l'enceinte dans les réacteurs de 1 300 MWe. A la différence des 900 MWe, qui ont une peau interne en acier pour assurer le rôle de paroi hermétique, les 1 300 MWe sont coiffés d'un double mur en béton. En effet, non seulement cette enceinte doit résister à des pressions de 8 bars, mais elle doit en plus être étanche sous de telles pressions. Une propriété évidemment mesurée à chaque visite décennale, via un test sous pression : on "gonfle" l'intérieur du bâtiment à 5 bars. Le taux de perte des gaz, au travers du béton, est alors enregistré. Selon l'ASN, en dessous de 1,5 % par jour de la masse de gaz contenue, l'étanchéité est estimée satisfaisante. Or, pour les centrales de 1 300 MWe, après une petite décennie de fonctionnement, ce seuil a été dépassé sur plusieurs d'entre elles. C'est le réacteur n° 1 de la centrale de Flamanville (Manche), mise en service en 1986, qui a ouvert le bal en 1997. Des fissures sont apparues, notamment autour du sas d'accès par lequel entre le matériel volumineux (tel un couvercle de cuve à remplacer). C'est pourquoi, depuis trois ans, des doublures

en matériau composite (résine...) sont régulièrement posées sur ces fissures, à l'intérieur de l'enceinte. Avec des résultats apparemment concluants pour l'instant.

Se pose toutefois la question de la tenue de cette résine au bombardement de neutrons. Un bombardement certes plus faible qu'à l'intérieur de la cuve, mais suffisant pour créer des interactions. Une question qui concerne aussi les parois en métal des centrales de 900 MWe. Par ailleurs, l'ASN a demandé à EDF, en juillet 2002, de mettre à jour ses "Programmes de maintenance préventive" sur le génie civil. A l'exploitant de "s'assurer par sondage que les dispositions constructives des armatures", liées au béton armé, n'ont pas bougé. Et ce, notamment "sur les ouvrages où des anomalies ont été détectées". Anomalies relevées à la centrale du Blayais, ouverte en 1981, où les câbles de précontraintes étaient fortement détendus. Mais pour l'heure, "le recul n'est pas suffisant sur les bétons précontraints, reconnaît Raymond Sené. L'étanchéité n'est pas non plus parfaite, et son évolution imprévisible avec le temps, car les modèles sont peu représentatifs." D'autant que chaque béton fait appel à un sable différent. Bref, le béton et son évolution restent un point très sensible.

✓ **Même précontraint, le béton reste du béton : une structure non-homogène qui, avec ses bulles d'air (en sombre), vieillit.**



# 6 centres vitaux sous haute surveillance

Sans eux, la centrale ne fonctionnerait tout simplement pas. D'où l'attention particulière dont ils font l'objet. Revue de détails de ces six éléments dont la maintenance, possible mais coûteuse, reste exceptionnelle.

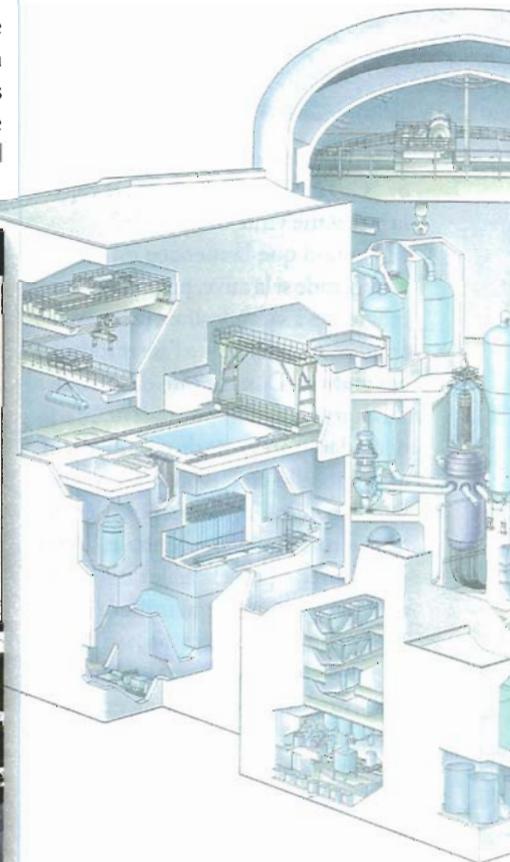
Si remplacer une cuve ou une enceinte en béton est impossible, ce n'est pas le cas de six éléments tout aussi cruciaux dans une centrale (voir fiches). Qu'ils viennent à vieillir prématurément, et EDF parle alors de "maintenance exceptionnelle".

Sur le plan comptable, ces opérations ne sont prévues qu'une seule fois dans la vie d'un réacteur. C'est du moins l'objectif que s'est fixé EDF. Car elles représentent des investissements très lourds. Prenons les générateurs de vapeur : tous ceux des installations de 900 MWe (1 mégawatt = 1 million de watts, voir "Jargon") sont défaillants... et leur remplacement coûte 90 millions d'euros ; or, si 11 ont déjà été effectués, il en reste 23 à réaliser. Mais ce n'est pas la seule raison. En effet, ce type de maintenance nécessite l'arrêt de la centrale. Et remplacer un générateur de vapeur prend entre cinq et sept semaines. C'est autant de production indisponible. Enfin, les niveaux d'exposition aux radiations se révèlent souvent très élevés

lors de ces maintenances. Or, le personnel ne doit pas recevoir une dose supérieure à 20 millisieverts par an (l'équivalent d'environ 100 radios des poumons). D'où une gestion délicate des travailleurs du nucléaire. ■

## Coudes

Certains coudes du circuit primaire, dans lesquels circule l'eau en contact avec le cœur du réacteur, sont en acier inoxydable. Problème : des essais en laboratoire, menés avant leur installation, ont montré que les hautes températures (300 °C) finissaient par les fragiliser. Cette pathologie, liée au vieillissement, affecte la ferrite des aciers : dans cet oxyde de fer se trouvent en effet d'autres métaux, comme le chrome. Pour l'instant, aucun coude n'a encore été changé parce qu'aucun défaut jugé dangereux par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) n'a été repéré.



## > JARGON

**We (watt électrique) :** unité de puissance, le We est une quantité d'énergie produite en une seconde.  
**eV (électronvolt) :** l'eV est l'énergie cinétique acquise par un électron traversant une différence de potentiel (tension) d'un volt.

## Câbles

Plus de 1 000 kilomètres de câbles électriques courent à l'intérieur du bâtiment qui abrite le réacteur. En théorie, ils sont censés pouvoir résister jusqu'à quarante ans mais l'irradiation dégrade leurs qualités mécaniques et altère la qualité des isolants électriques. Ces câbles resteront-ils fonctionnels, tout particulièrement si un accident survient ? Personne ne peut le dire. C'est pourquoi des études sont en cours, au Commissariat à l'énergie atomique (CEA) notamment. Lequel a d'ores et déjà estimé que "le cheminement compliqué de ces câbles rendrait leur remplacement extrêmement coûteux : pas moins d'un an et demi de chantier..."



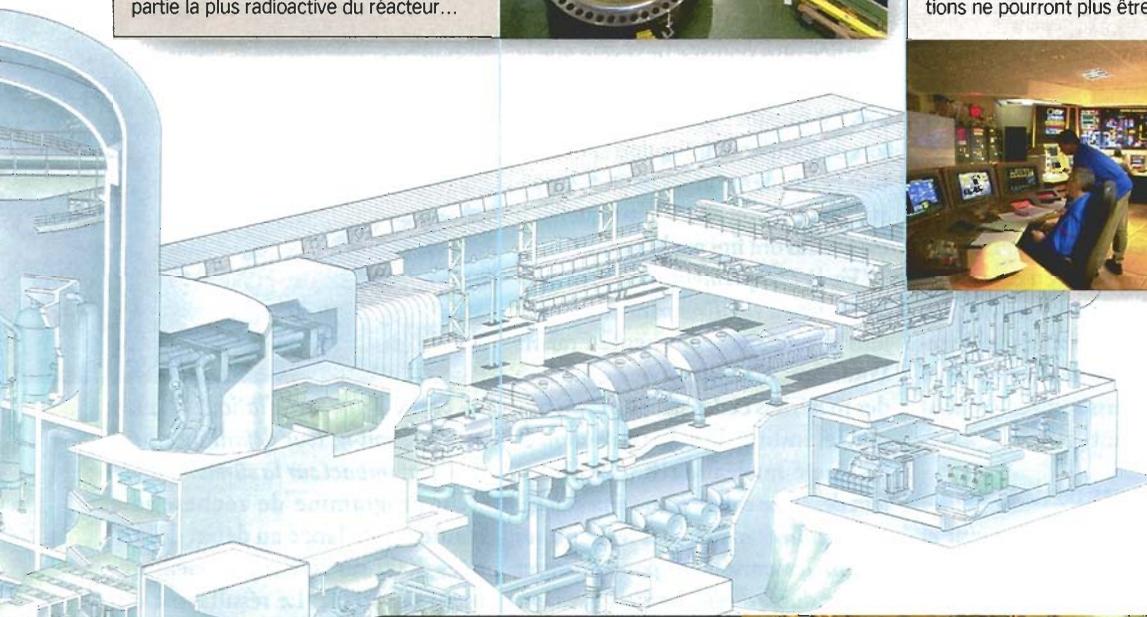
### Structure interne

Pour contrôler les réactions en chaîne dans le cœur de la cuve, des "barres de commande" sont glissées plus ou moins profondément entre les barres de combustibles: elles absorbent alors les neutrons. En cas d'emballement des réactions, les barres doivent pouvoir "tomber" immédiatement pour limiter la casse. Or, les structures qui tiennent ces barres encaissent un flux neutronique très élevé, aboutissant à des phénomènes de corrosion, d'usure, de fragilisation... Dans le pire des cas, les structures pourraient même se retrouver bloquées. Reste que le chantier de maintenance est délicat: c'est la partie la plus radioactive du réacteur...



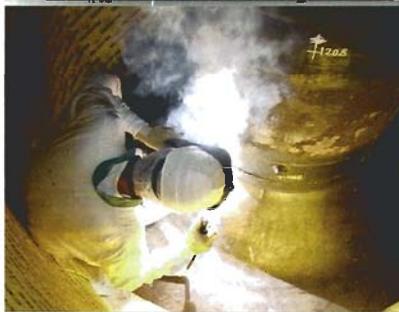
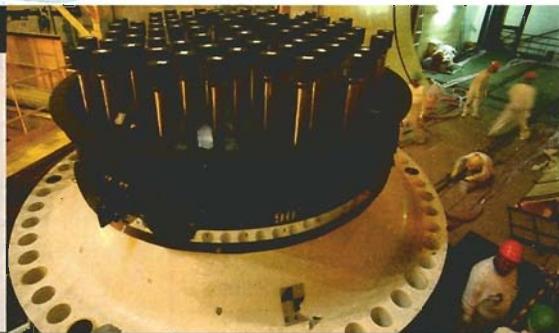
### Contrôle de commande

Une partie du matériel utilisé dans le contrôle de commande fait appel à de vieux systèmes électromécaniques, ou à une électronique analogique, à peine moins ancienne. En outre, des langages informatiques tout aussi dépassés sont encore employés. Ici, le problème est lié à l'électronique et à l'informatique: matériels et savoir-faire ne sont disponibles que peu de temps sur le marché. Tandis que, bien souvent, EDF est le seul client d'un certain nombre de ces composants. L'obsolescence technologique l'oblige donc à maintenir, chez ses techniciens, des compétences sur ces matériels d'anciennes générations, faute de quoi des réparations ne pourront plus être menées...



### Couvercle de cuve

Ces éléments qui ferment les cuves de réacteur sont posés à chaque rechargement en combustible. Ils présentent un problème de corrosion semblable à celui des générateurs de vapeur. Résultat: des fuites ont été constatées en septembre 2001 sur le réacteur n° 3 de la centrale du Bugey et son couvercle a dû être changé en mars 2003. (voir *Science & Vie* n° 1031). Ainsi, tous les couvercles du parc français vont devoir subir le même sort pour éliminer cette menace de fuite.



### Générateur de vapeur

C'est par cet énorme élément de 20 mètres de haut et lourd de 320 tonnes que la chaleur issue du réacteur est transférée à la turbine. La vapeur sous pression la fait tourner, ce qui génère de l'électricité. Le problème, c'est qu'une corrosion importante due aux vapeurs à haute pression peut faire apparaître des fissures sur l'alliage inoxydable des tubes échangeurs de chaleur qui sillonnent l'intérieur du générateur de vapeur. Ce qui fut découvert en 1990 sur le réacteur n° 1 de la centrale de Dampierre, après seulement dix ans de service... Depuis, EDF a décidé de changer ces générateurs sur toutes ces installations de 900 Mwe...

# 450 points névralgiques

C'est aussi de l'accumulation de petits pépins que dépend l'état d'une centrale. Or, de la peinture aux câbles, une liste recense désormais 450 points à surveiller au fil du temps. Nous nous sommes procuré cette liste. Vertigineux.

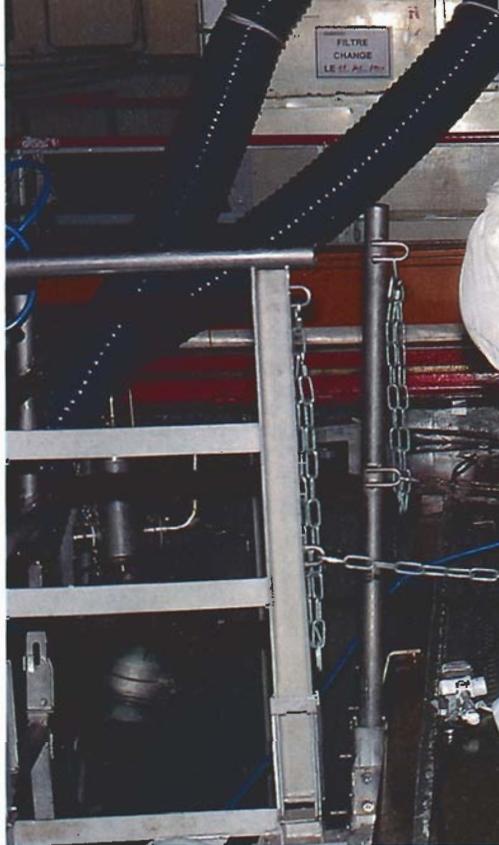
Un clapet. Un simple clapet d'étanchéité qui coince, et c'est toute la sûreté de la centrale qui risque d'être mise en danger ! Incroyable ? Et pourtant... Dans une installation nucléaire, un clapet sert habituellement à isoler deux circuits d'eau, qui ne seront mis en contact qu'en cas d'incident : quand le premier n'arrive plus à refroidir le cœur du réacteur, le second vient alors en renfort. Pourvu que le clapet puisse effectivement s'ouvrir au moment voulu...

## JUSQU'AUX JOINTS DE ROBINETS...

Pour s'en assurer, le mouvement et l'étanchéité de tous les clapets sont régulièrement vérifiés. Oui, mais tout peut sembler fonctionner normalement, jusqu'à ce qu'une visite de main-

tenance plus poussée ne révèle que la fixation de l'axe d'un clapet, par exemple, est fissurée ; celui-ci menace dès lors de rompre. Explication : l'irradiation permanente et les hautes températures (environ 300 °C) auxquelles il est soumis ont fini par le fissurer...

*"Voilà typiquement un de ces incidents liés au vieillissement auxquels il faut se préparer, commente Francis Vouilloux, chef du service d'analyse des matériels et des structures au très officiel Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN). On est loin des cuves et autres enceintes en béton, étudiées sous toutes les coutures depuis les années 90 pour s'assurer de leur durée de vie. Le vieillissement d'une centrale peut, en fait, toucher n'importe quel petit élément, système*



*ou partie d'une installation. Et aussi modeste soit-il, leur défaillance peut avoir un impact sur la sûreté."*

Un programme de recherche a d'ailleurs été lancé au début des années 2000 sur le couple "vieillessement et sûreté". Le résultat est impressionnant : pas moins de 450 de ces "modestes" points ont été relevés.

## > FAITS ET CHIFFRES

**En 2002, 99 incidents de classe 1** sur l'échelle INES ("International Nuclear Event Scale") sont survenus **dans les centrales françaises**. A cause de défaillances matérielles ou humaines, elles fonctionnaient **"anormalement"**. On en avait recensé **79 en 2001** et **134 en 2000**. **1 incident de classe 2** s'est produit **en 2002** à la centrale de Flamanville : **"multiples défaillances"** du système de surveillance et de commande du **réacteur 2** et perte de l'une des deux alimentations électriques provoquant son arrêt automatique. Il y avait eu **2 incidents de classe 2 en 2001 et 2000**.

## CLIMAT, SÉISME : UNE NOUVELLE DONNE

Ce que les bâtisseurs de centrales ne pouvaient pas prévoir, ce sont les nouveautés que nous réservent les changements climatiques et l'avancée des connaissances, en géophysique notamment. Un exemple ? Durant l'été caniculaire de 2003, le réacteur n° 1 de la doyenne des centrales françaises, celle de Fessenheim (Al-

sace), est gagné par une surchauffe. Sous l'immense cloche de béton qui enferme la cuve du réacteur, la température monte à 48,2 °C – la limite réglementaire étant de 50 °C. Après de vaines tentatives pour refroidir les murs de béton, il est décidé d'avoir recours au "réseau de refroidissement intermédiaire". La crise est passée...

Mais cette mésaventure a révélé un réel défaut : le manque de ventilation de l'intérieur de certaines enceintes en béton des réacteurs de 900 MWe. Elle a surtout montré les situations extrêmes auxquelles les centrales vont devoir se frotter si le climat multiplie ses sautes d'humeur. Dans le programme de la troisième visite décen-



▲ Les "chantiers de jouvence" des centrales vont se multiplier. Or, c'est justement lors de la maintenance que le personnel est le plus exposé au rayonnement ionisant...

Le programme de travail, proposé par EDF, a fait l'objet d'une présentation à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), les 4 et 11 décembre 2003. *Science & Vie* a réussi à obtenir des précisions sur ce document interne particulièrement copieux.

Car parmi les 450 points à étudier, on trouve de tout. Vraiment de tout: des condensateurs électriques aux joints de robinets, des diesels de secours aux piscines, où refroidissent les barres de combustibles lors des mises à l'arrêt du réacteur... (Voir →

**LE 24 AVRIL 1986, À LA CENTRALE DE TCHERNOBYL** (Ukraine), des essais doivent être menés sur un alternateur du réacteur n° 4. Pour faciliter l'opération, les signaux d'arrêt d'urgence sont mis en *stand-by*. En quelques secondes, le réacteur s'emballé, atteignant cent fois sa puissance normale. C'est l'explosion. Un nuage contenant une partie importante des produits radioactifs du cœur du réacteur s'échappe dans l'atmosphère... Depuis, des enseignements ont été tirés: "*De nouvelles 'séquences' à problème ont été identifiées*, explique Thomas Maurin, sous-directeur à l'ASN. *Comme l'arrivée soudaine d'un nuage d'eau pure dans la cuve du réacteur, c'est-à-dire sans les atomes de bore qui absorbent habituellement les neutrons, et limitent la réactivité. La réaction de fission, alors, s'emballé. Le risque existe.*" Et l'ASN a demandé à EDF de le réduire de manière "significative".

## POUR LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE

nale (les deux autres étant déjà en application), dont l'étude a été lancée le 9 octobre 2003, on peut d'ailleurs trouver la longue liste des "agressions externes", dont EDF devra renforcer la prise en compte: les grands froids, les tempêtes, les inondations, la sécheresse... rejoignent la canicule.

"*Nous considérons que les règles de sécurité doivent suivre l'évolution des techniques et le progrès des connaissances*, explique Alain Schmitt, directeur général adjoint de l'Autorité de sûreté nucléaire. *Ce qui était jugé acceptable à un moment donné peut ne plus l'être ultérieurement.*" No-

tamment le risque sismique. Car les connaissances géophysiques dans ce secteur ont fait en quelque temps d'énormes progrès: on sait maintenant avec certitude que les réactions d'un sol mou sont plus importantes que celles d'un sol dur. Et que l'histoire sismique de la France a été plus

agitée que ce que l'on croyait il y a vingt ou trente ans.

Finalement, plus les centrales avancent dans le temps, plus

elles doivent se confronter à ces nouvelles exigences. Une autre façon de considérer les aléas du vieillissement.

> Lors de la canicule de l'été dernier, l'air a dû être refroidi dans les enceintes des centrales de Fessenheim (photo), Dampierre et Chooz.



F. DUCASSERAPHO - O. MORIN/AFP

→ infographie). En passant par "la peinture, ajoute Francis Vouilloux, dont le service a examiné le programme de travail d'EDF. Car elle aussi vieillit. Et celle à l'intérieur de l'enceinte en béton plus vite qu'ailleurs. Il a ainsi été demandé à EDF de vérifier quelle pouvait être la relation d'une peinture en mauvais état avec la sûreté de la centrale." Pousserait-on la recherche d'une sécurité totale un peu trop loin ? Nullement : en se délitant, la peinture peut venir obstruer des puisards. Lesquels, situés en contrebas du réacteur, sont censés récupérer l'eau qui s'échapperait d'une fuite importante du circuit primaire de refroidissement, afin de la renvoyer dans le circuit d'injection de sécurité, le refroidissement du réacteur étant ainsi préservé. Or, ces débris de peintures, comme d'autres, "sont susceptibles d'atteindre les grilles filtrantes des puisards [...] et de les colmater", notait récemment l'Autorité de sûreté nucléaire.

### BRAS DE FER EN VUE ENTRE EDF ET LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Difficile tout de même de croire que, sous prétexte qu'une batterie pourrait un jour s'avérer défaillante ou des robinets se coincer, des centrales prennent leurs retraites prématurément. "En effet. Mais c'est pourtant la multitude de ces petites défaillances qui a obligé, en 1997, les Canadiens d'Ontario Power Generation à fermer du jour au lendemain huit de leurs réacteurs", rapporte Francis Vouilloux. "Depuis, seulement un ou deux ont pu être redémarrés..." Fin 2004, l'IRSN donnera son avis sur ces 450 points du document interne. Et dira sur lesquels le mécanisme de vieillissement se confirme et où il faudra alors renforcer la maintenance. Un nouveau bras de fer en prévision entre EDF et l'Autorité de sûreté nucléaire... Car tout cela coûtera cher à EDF, en termes de temps comme d'argent... ■

## 22 exemples de "détails anodins" à ne pas négliger sur une centrale

### Les grappes de commande

Selon le niveau d'activité des réactions, un système de guidage fait monter ou descendre dans la cuve les barres de commande pour ralentir ou accélérer le phénomène. Or, si les neutrons et la chaleur ont trop fragilisé le système, elles ne tombent pas assez profondément pour prévenir l'accident.

### Cliquets de commande de grappe

Ils interviennent pour maintenir les barres de commandes, qui régulent la réactivité du cœur. Fréquemment utilisés, ils finissent par s'user. C'est le contrôle de la réaction qui est alors en jeu.

### Clapets

Ils isolent deux circuits d'eau. Or leur vieillissement peut supprimer le point de contact entre un circuit de sécurité et le circuit primaire. Le premier ne peut plus alors servir à refroidir le second.

### Sondes de température

Lorsqu'elles sont détériorées, elles n'indiquent plus la température à l'intérieur de la cuve. On contrôle alors mal la fission.

### Tuyaux du circuit primaire

Les parties linéaires du circuit d'eau n'échappent pas aux attaques de la fatigue thermique. Leur fuite, ou leur rupture, agit sur le refroidissement du cœur.

### Moteurs de commande de vannes

Ils commandent l'ouverture et la fermeture du réapprovisionnement des circuits qui sont donc menacés en cas de panne.

### Polymères des tableaux électriques

Quand ces systèmes de fixation vieillissent, les tableaux électriques risquent de tomber en cas de séisme. Et les commandes contrôlant l'activité du site de ne plus répondre.

### Batteries de secours

Elles sont prévues pour se substituer aux diesels, lorsqu'ils ne prennent pas le relais pour rétablir le courant. Leur panne laisse la centrale sans commande.

### Robinetterie

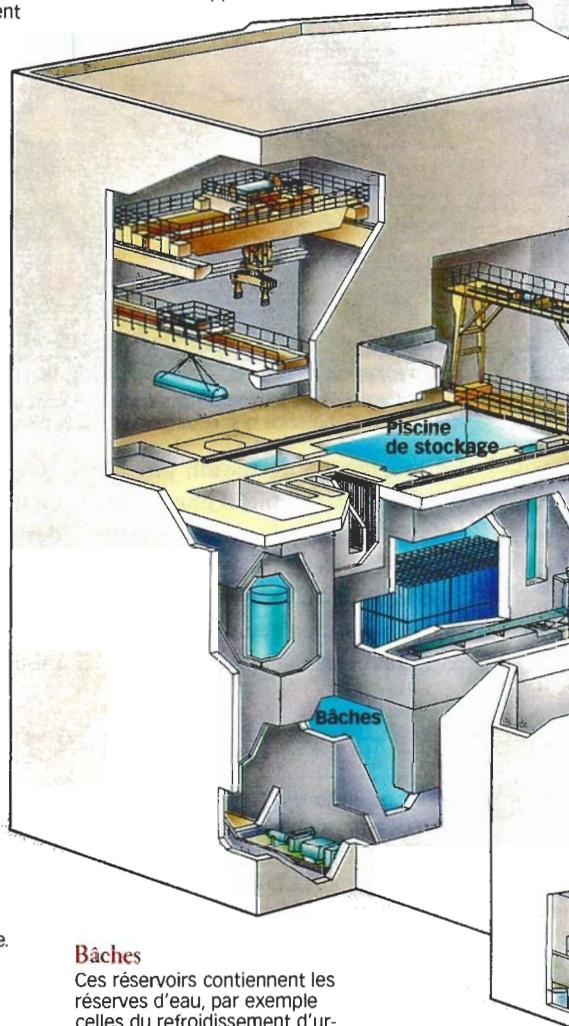
Si des joints durcissent, les circuits ne sont plus étanches : l'eau ne circule plus ou le système de refroidissement n'est plus assuré.

### Enveloppe secondaire

La peau en inox du générateur de vapeur conduit l'eau du circuit secondaire qui, en se réchauffant, fait tourner les turbines génératrices d'électricité. Une corrosion de cette enveloppe entraîne l'arrêt du générateur.

### Piscine de stockage

Les barres de combustibles sont entreposées dans ce bassin d'eau "borée", chargée de retenir les neutrons. En cas de fuite, les neutrons s'échappent.



### Bâches

Ces réservoirs contiennent les réserves d'eau, par exemple celles du refroidissement d'urgence. Si leurs vidanges se mettent à fuir, le cœur peut surchauffer en cas d'incident.

### Diesels de secours

En cas de panne, ils ne peuvent pas prendre le relais pour rétablir le courant de la centrale. L'installation est sans contrôle commande, le temps que les batteries agissent.

### Peinture

La peinture couvrant l'intérieur des enceintes de confinement se dégrade avec le temps. Elle se délite, tombe et obstrue des puisards, qui doivent rester dégagés.

### Pont de manutention

A partir de ces passerelles qui surplombent les cuves sont menées des opérations de maintenance courante. En cas de défaut de vieillissement, c'est la sécurité quotidienne des ouvriers qui est alors en jeu.

### Panneaux de replis

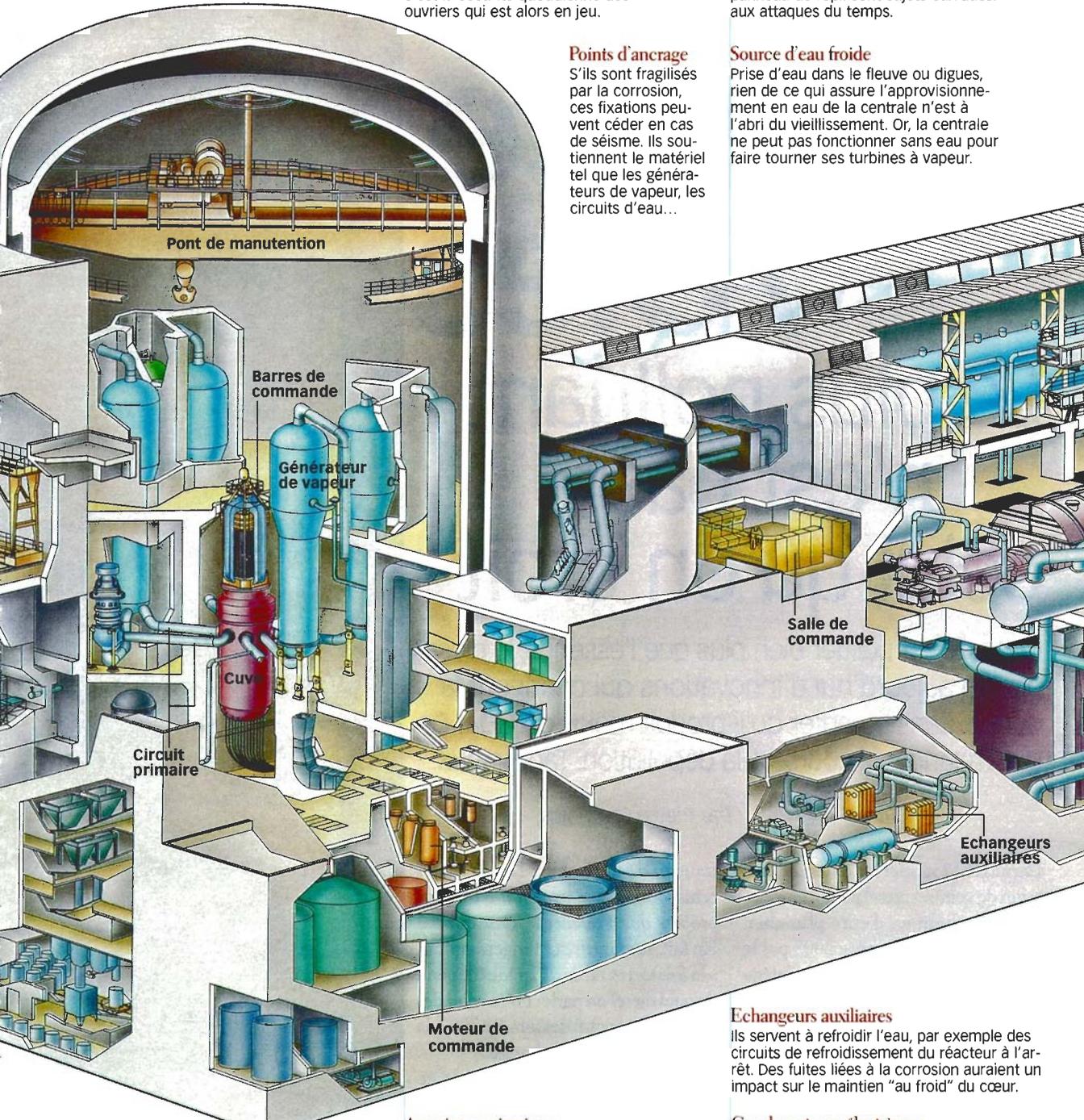
Si la salle de commande principale venait, par exemple, à brûler, les techniciens doivent pouvoir compter sur une deuxième salle. Mais les composants électriques du panneau de repli sont sujets eux aussi aux attaques du temps.

### Points d'ancrage

S'ils sont fragilisés par la corrosion, ces fixations peuvent céder en cas de séisme. Ils soutiennent le matériel tel que les générateurs de vapeur, les circuits d'eau...

### Source d'eau froide

Prise d'eau dans le fleuve ou digues, rien de ce qui assure l'approvisionnement en eau de la centrale n'est à l'abri du vieillissement. Or, la centrale ne peut pas fonctionner sans eau pour faire tourner ses turbines à vapeur.



Pont de manutention

Barres de commande

Générateur de vapeur

Cuve

Circuit primaire

Salle de commande

Echangeurs auxiliaires

Moteur de commande

### Tuyauterie incendie

Elle sert à neutraliser les sinistres qui surviendraient, par exemple, dans l'enceinte de confinement. Si elle est endommagée, elle ne peut arrêter le feu.

### Appuis parasismiques

Ces "coussins" en élastomère sont censés "amortir" la violence des secousses sismiques qui frapperaient le bâtiment réacteur. S'ils perdent leur qualité élastique, ils sont inefficaces.

### Echangeurs auxiliaires

Ils servent à refroidir l'eau, par exemple des circuits de refroidissement du réacteur à l'arrêt. Des fuites liées à la corrosion auraient un impact sur le maintien "au froid" du cœur.

### Condensateurs électriques

Les tableaux électriques de basse et moyenne tension en sont remplis. S'ils tombent en panne, c'est notamment la disponibilité du contrôle commande de la centrale qui n'est plus assurée.