

## Amélioration du parc

L'industrie nucléaire a atteint sa maturité. Cependant, il reste encore des marges de compétitivité à gagner :

- En améliorant **la rentabilité du parc grâce à une utilisation plus efficace du combustible nucléaire** ;
- En allongeant la **durée de vie des réacteurs existants**. Le parc de réacteurs mondial vieillit plutôt bien, et de nombreux électriciens dans le monde envisagent de faire fonctionner les réacteurs existants au-delà de la durée de vie pour laquelle ils ont été initialement conçus. Encore faut-il obtenir les autorisations et, pour cela, démontrer que le vieillissement des composants du réacteur est prévisible et maîtrisé ;
- En préparant le **remplacement du parc de réacteurs REP actuel** par des réacteurs évolutionnaires de troisième génération, dotés d'un rendement amélioré et d'un niveau de sûreté (encore) accru.

**Ces trois pistes d'amélioration pour le futur proche nécessitent de la R&D.** Le CEA en prend une large part, en partenariat étroit avec les industriels français du nucléaire, AREVA et EDF.

\*\*\*

### ALLONGER LA DURÉE DE VIE DES RÉACTEURS EXISTANTS

Prévues initialement pour durer une quarantaine d'années, les centrales nucléaires vieillissent plutôt bien, comme en témoigne le retour d'expérience sur le parc mondial. Or, les centrales nucléaires voient leur rentabilité augmenter considérablement une fois l'investissement initial amorti.

**L'allongement de la durée de vie des réacteurs est donc un enjeu majeur pour les électriciens.** C'est pourquoi de nombreux exploitants nucléaires dans le monde demandent actuellement à l'autorité de sûreté de leur pays l'autorisation de prolonger la durée de vie de leurs installations. Le parc de réacteurs français est plus jeune que la moyenne mondiale, mais EDF souhaite également prolonger la durée de vie de ses réacteurs. Encore faut-il démontrer que la sûreté du système est préservée...

Le prolongement de la durée de vie des centrales nucléaires demande une très bonne connaissance et une grande maîtrise des mécanismes de vieillissement de tous leurs composants. Il faut aussi disposer de moyens de diagnostic et de contrôle fiables. Le CEA conduit des recherches dans ces deux domaines. Les mécanismes de vieillissement des composants d'un réacteur nucléaire sont très divers. Certains, comme la fatigue des matériaux, la corrosion sous contrainte, la corrosion-érosion, et l'usure par frottement sont tout à fait classiques et se retrouvent dans de nombreux autres installations ou objets industriels. D'autres mécanismes sont plus spécifiques du nucléaire, en particulier la fragilisation et le gonflement des aciers sous irradiation et la corrosion sous rayonnement. Ces différents mécanismes n'agissent pas isolément : c'est leur action conjointe, « synergique », qui contribue à accélérer le vieillissement des composants d'une centrale nucléaire, et qu'il s'agit de maîtriser.

### LE VIEILLISSEMENT DES COMPOSANTS DE LA CENTRALE

La **cuve** du circuit primaire des réacteurs à eau est un des éléments supposés non remplaçables. Elle constitue une partie de la seconde barrière de confinement : à ce titre, elle est un élément dont la tenue mécanique est requise de manière impérative en conditions accidentelles. Aussi fait-elle l'objet d'un programme spécifique de surveillance et d'évaluation de durée de vie. Ainsi, à chaque visite décennale, EDF présente à l'autorité de sûreté un dossier de tenue en service des cuves justifiant leur aptitude à remplir cette fonction de sûreté pour les dix ans à venir.



Machine d'inspection des défauts des cuves.

**Le phénomène majeur de vieillissement des cuves est naturellement lié aux dommages d'irradiation\*** : les principaux facteurs influents sont le degré d'irradiation de la cuve et les chargements subis au cours des transitoires de puissance.

L'exploitant minimise l'irradiation de la cuve en utilisant des plans de chargement du combustible optimisés du point de vue de la neutronique. La connaissance de l'état du matériau de cuve, notamment sur sa face interne, est primordiale car les défauts existants peuvent, selon leur taille, favoriser la propagation de fissures. Expérimentalement, l'irradiation de la cuve est suivie grâce à des mesures de dose avec des éprouvettes d'irradiation. En outre, la santé de la cuve est contrôlée par ultrasons, ce qui permet de détecter et d'évaluer la taille des défauts liés à la fissuration à froid et ceux résultant des décohésions intergranulaires dues au réchauffage.

**Un large programme de R&D auquel participe très activement le CEA suit les études sur la durée de vie de la cuve. Il couvre les principaux facteurs influant sur l'évaluation de la tenue de la cuve et sa durée de vie.**

Le principal programme de R&D porte sur les **critères physiques justifiant la tenue des cuves**. Outre l'évaluation de la **fluence\*** atteinte par la cuve, le programme comporte notamment :

- Des irradiations d'échantillons d'aciers de cuve en réacteur expérimental (Osiris) ;
- le développement de méthodes pour la détermination des propriétés mécaniques ;
- le développement de méthodes avancées en mécanique de la rupture (méthodes probabilistes), visant à mieux évaluer les marges de résistance disponibles.

Le suivi de l'**état du matériau** de cuve par les méthodes de contrôle non destructif fait l'objet d'actions de R&D, en particulier autour de l'amélioration et de la qualification des procédés ultrasoniques mis en oeuvre.

Le retour d'exploitation des réacteurs montre quelques phénomènes de vieillissement qu'il faut prendre en compte afin de pouvoir assurer la durée de vie de l'**enceinte de confinement**. Celle-ci constitue la dernière barrière pour la rétention des matières radioactives en cas d'accident grave. Pour justifier d'une augmentation de la durée de vie de l'enceinte, il est nécessaire de démontrer qu'elle pourrait jouer encore son rôle en situation accidentelle. **Les différents phénomènes de vieillissement observés ou envisagés sont la corrosion de la peau métallique interne et la dégradation du béton de l'enceinte, par fissuration ou corrosion des armatures.** Le CEA contribue, par ses programmes de R&D, à l'amélioration des connaissances sur ces questions.

## **LE VIEILLISSEMENT DES COMPOSANTS REMPLAÇABLES**

Le CEA ne conduit pas de programme spécifique sur le vieillissement des différents composants remplaçables des réacteurs : ce dernier est dû à des phénomènes communs, qui font l'objet d'une R&D générique. Toutefois, compte tenu de leur importance, certains composants font l'objet d'une attention particulière. C'est le cas des tubes générateurs de vapeur, dont la rupture peut avoir des conséquences sérieuses. Les programmes de R&D réalisés au CEA portent sur les méthodes de contrôle non destructif applicables à ces tubes et sur les deux mécanismes principaux de vieillissement identifiés : la corrosion sous contrainte et l'usure par frottement, du fait des vibrations induites par l'écoulement.

Les **internes de cuve** font également l'objet d'une attention particulière, avec l'étude du durcissement des aciers sous irradiation, et de la corrosion sous contrainte accélérée par irradiation. Les programmes

de R&D sur le sujet se traduisent, en particulier, par des irradiations de matériaux d'internes dans des réacteurs à neutrons rapides.

L'usure des **grappes de commande**, guides de grappes et mécanismes de commande, a été constatée sur le parc et est également surveillée de près. Le mécanisme identifié est la **tribo-corrosion [1]**, qui associe usure et cycle de passivation dépassivation des surfaces métalliques par la création et la disparition d'un film oxyde. Ce programme associant la physico-chimie et la mécanique doit conduire à la compréhension de ces phénomènes, leur modélisation et la production de règles pour l'évaluation du vieillissement et la politique de remplacement des grappes de commande.

Enfin, il importe de préciser que les méthodes de calcul en mécanique du solide, notamment dans le domaine de la mécanique de la rupture, ont fait de tels progrès avec la révolution informatique et numérique (analyse par éléments finis) qu'on est mieux armé aujourd'hui pour prédire le comportement détaillé de l'installation sans devoir recourir à des hypothèses trop simplificatrices. Si, à l'heure actuelle, on est capable de prévoir une plus longue durée de vie des composants, c'est en grande partie aux techniques modernes d'analyse numérique qu'on le doit.

---

[1] Corrosion par frottement (tribo- du grec tribein : froter). [N.D.E.]

---

### **Note de l'auteur :**

Le document ci-dessus était présent sur le site du CEA à :

[http://nucleaire.cea.fr/fr/parc\\_actuel/amelioration\\_du\\_parc.htm](http://nucleaire.cea.fr/fr/parc_actuel/amelioration_du_parc.htm)

Mais ce lien n'est plus valide au moment de la rédaction de cet ouvrage.