

Éléments de réponse au sujet « des conditions de la poursuite du fonctionnement des réacteurs de 1300 MWe au-delà de 40 ans »

Préambule : toutes ces machines ont été conçues pour un fonctionnement en réacteurs de base c'est-à-dire fonctionnant au régime nominal sans variation de charge.

La raison technique réside dans le nombre de cycles admissibles pour les éléments sensibles du réacteur. Celui le plus sensible est certainement l'interaction entre la gaine et le combustible. Nous allons en parler ci-dessous.

Comportement du combustible :

Les pastilles d'uranium fritté sont, en fonctionnement normal, environ à la température très proche de 2000° C. La gaine de quelques dixièmes d'épaisseur est réalisée en alliage de zirconium et se situe à peu près à la température de 310° C. Le gradient est donc très important entre ces deux composants et donc susceptible d'engendrer des contraintes thermiques puis mécaniques très élevées risquant d'abréger ainsi l'endurance de la gaine en zirconium.

Comportement de la gaine en zirconium

Le métal zirconium, lorsqu'il est bombardé par des neutrons, « durcit » considérablement et devient pratiquement un métal avec des propriétés mécaniques (R-E_{0,2}-A%) de « l'acier à ressort », c'est-à-dire très sensible à la fissuration. Et l'adaptation plastique est très faible.

C'est la raison technique principale qui demande un fonctionnement du réacteur à régime constant c'est-à-dire « en générateur électrique de base sur le réseau. » pour limiter précisément le nombre de cycles thermiques.

Fonctionnement actuel des réacteurs électro-nucléaires en France :

Certaines autorités émanant de EDF ainsi que certaines émanant de l'ASNR ont décrété qu'il était possible pour les réacteurs électronucléaires de suivre les variations de charge du réseau. Avec la restriction suivante « cela peut entraîner un vieillissement des machines sans conséquence sur la sûreté ». Cette affirmation me paraît osée.

Et si effectivement il convient que EDF pilote à l'avenir, les réacteurs électronucléaires en fonction de la charge sur le réseau, il conviendrait aussi d'envisager certaines précautions que je préconise ci-dessous.

Préconisations :

Le zirconium irradié étant très peu ductile il conviendrait de le remplacer par un matériau beaucoup plus ductile et dont les propriétés de ductilité varient peu avec la Fluence.

Dans l'état actuel de nos connaissances la seule issue semble être, à mon niveau, l'acier inoxydable du type 18 % chrome et 8 % de nickel avec ou non un élément d'alliage de protection contre la corrosion (molybdène ?) alliage dont la plasticité est notable par rapport au métal zirconium irradié.

Exemples technologiques :

Je rappelle à ce titre le réacteur dit de Séna dont les éléments combustibles étaient gainés avec de l'acier inoxydable. Au cours du cisailage après un burnup d'environ 25 000 MWj/t, les gaines se comportaient comme un matériau extrêmement ductile et produisaient beaucoup de fils d'inox qui apparaissaient au cours du cisailage et créaient un écheveau de morceaux de gaine (coques). C'était bien la preuve de la ductilité du métal de gainage après irradiation.

Je rappelle aussi que les premiers éléments combustibles du PAT à Cadarache, étaient gainés en acier inoxydable

Un autre exemple réside dans les installations de vitrification de Orano la Hague qui fonctionnent depuis 1989 (pas loin de 20 000 conteneurs fabriqués à ce jour). Or, le pot de fusion qui est porté deux fois par jour à 1060° C accepte plus de 250 cycles sans rupture malgré des déformations plastiques importantes .

Inconvénients de cette solution :

Elle conduit à enrichir légèrement davantage en ^{235}U le fritté uranium afin de compenser l'absorption des neutrons dans la gaine (section efficace de l'acier inoxydable supérieure à celle du zirconium) sans production des matières valorisantes. Mais il s'agit d'un problème d'économie en regard d'un problème de durabilité et de sécurité du combustible.

Martin Jean-Paul-Cherbourg-en-Cotentin

Le 28 mai 2025 - 