

Introduction

Sur le parc nucléaire français, les réacteurs nucléaires 900 MWe ont été conçus et construits à l'origine pour une durée d'exploitation d'au moins 40 ans. Aujourd'hui, les plus anciens réacteurs en fonctionnement s'approchent de leur 40^{ème} année d'exploitation. EDF envisage d'exploiter les réacteurs 900 MWe au-delà de 40 ans. Pour prolonger cette durée de fonctionnement, les mécanismes de vieillissement des composants des réacteurs doivent être anticipés et maîtrisés. La cuve du réacteur nécessite une attention particulière car elle joue un rôle essentiel pour la sûreté de l'installation et son intégrité doit être démontrée tout au long de la durée d'exploitation. Son remplacement n'étant pas envisageable, la durée d'exploitation d'un réacteur sera conditionnée, entre autre, par la durée de vie de la cuve.

1. Les enjeux liés au vieillissement de la cuve du réacteur

La cuve du réacteur est constituée d'acier ferritique à bas pourcentage de carbone (0,25%) avec un beurrage intérieur en acier inoxydable. Sous flux neutronique, certains neutrons entrent en collision avec les atomes de l'acier de la cuve créant **sa fragilisation par irradiation**. Ce phénomène est appelé **vieillissement de la cuve**. Certaines parties, se trouvant plus proches des assemblages combustibles, sont plus irradiées.

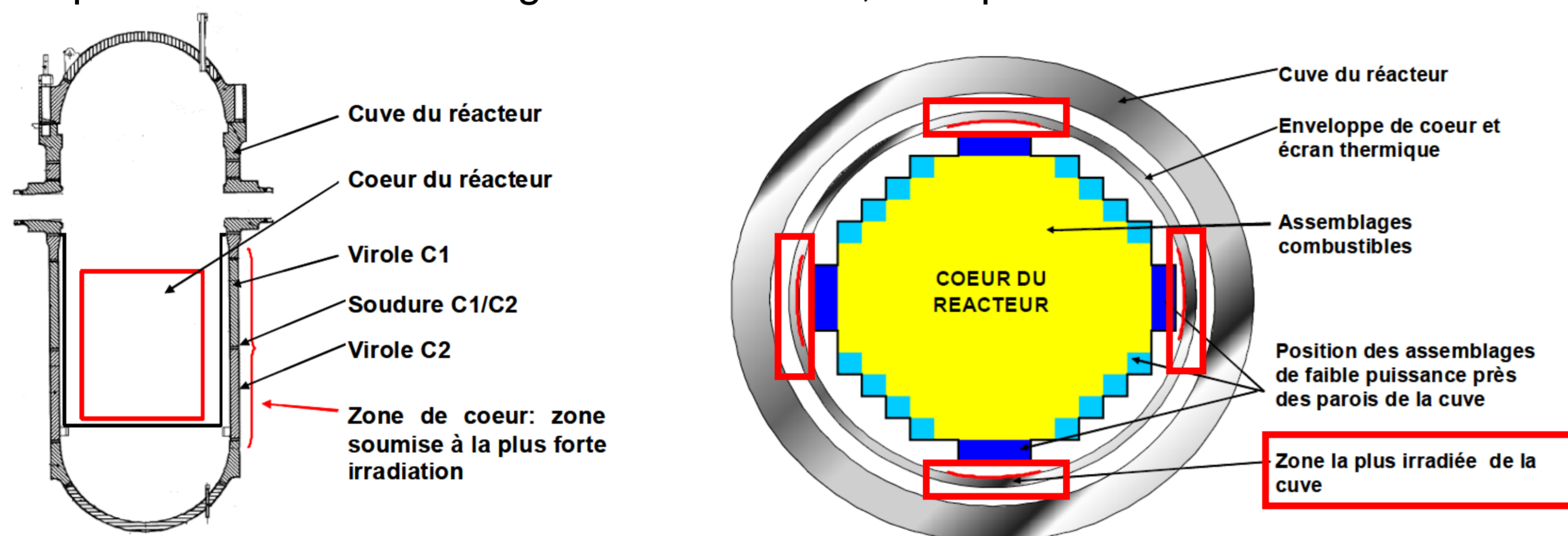


Figure 1: implantation des assemblages combustibles dans une cuve de réacteur 900 MWe vue de face et vue de dessus (source : ASN, 2010)

Conséquences du vieillissement de la cuve

- ✓ La température de transition délimite le domaine de **fragilité et ductilité** d'un métal (comme l'acier, composant de la cuve)
- ✓ La fragilisation de l'acier entraîne une **augmentation de la température de transition**. Une température de transition maximale a été fixée à la conception du réacteur (elle tient compte du vieillissement de la cuve, irradiée pendant 40 ans)
- ✓ Pour ne pas dépasser la température de transition maximale (ce qui remettrait en cause le pilotage du réacteur au-delà de 40 ans) il faut limiter la fragilisation de l'acier. Pour cela il faut **diminuer le flux neutronique** au niveau des zones les plus exposées de la cuve

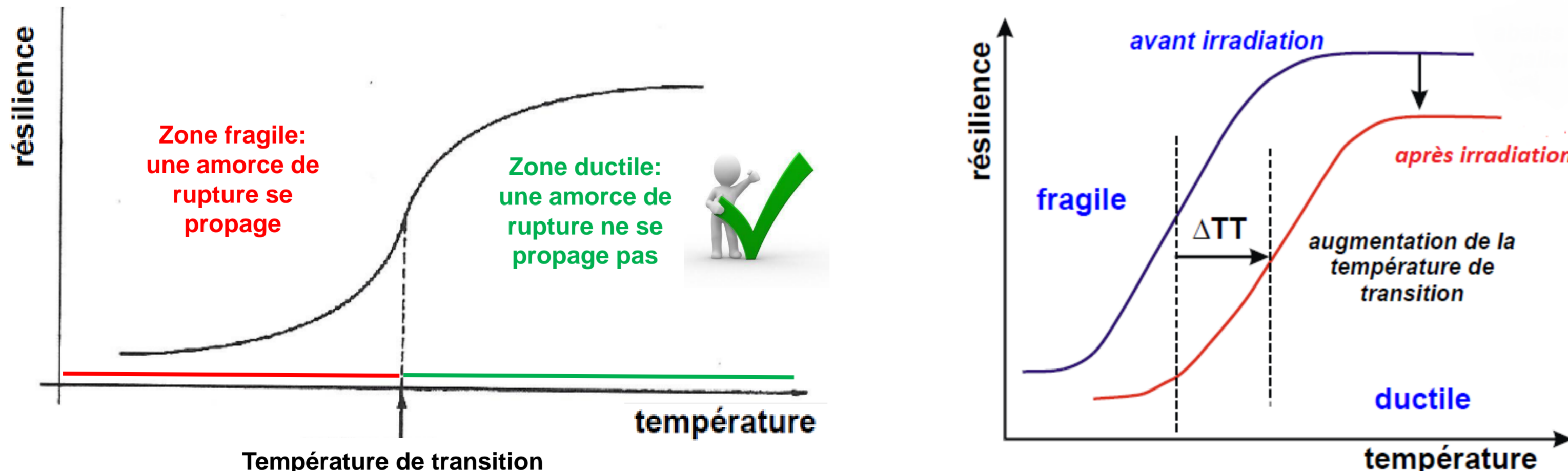


Figure 2: courbes théoriques NDTT (Nil Ductility Transition Temperature) pour un métal (source : Ruste Jacky s.d)

2. Une solution: les grappes hafnium

Objectifs du projet

- ✓ Mise en œuvre d'une solution matérielle pour diminuer l'exposition de l'acier au flux de neutrons
- ✓ Démontrer la tenue des cuves en service jusqu'à 50 ans et au-delà

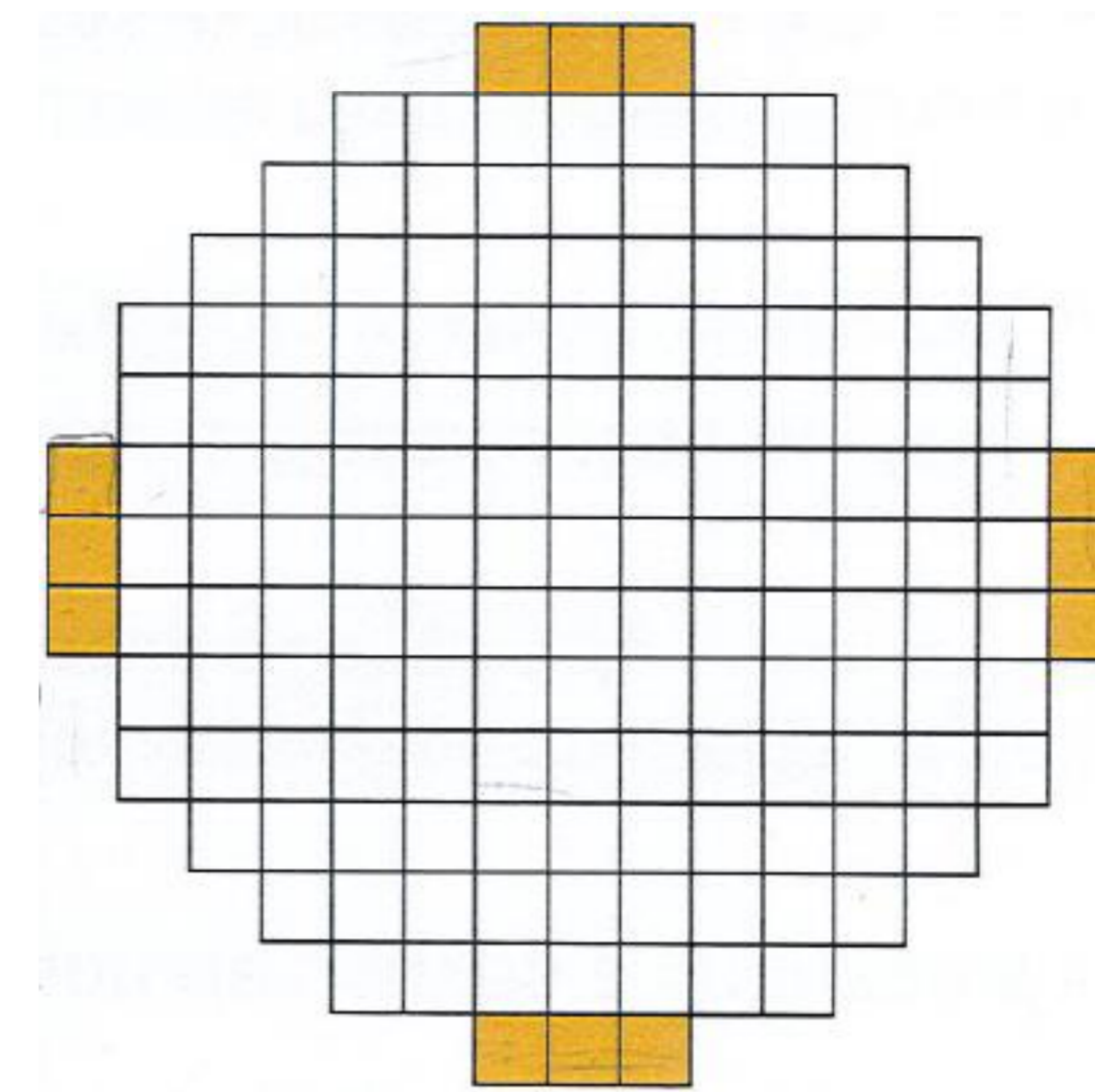


Figure 3: position des grappes hafnium dans le cœur du réacteur (source : EDF, 2017)

- ❖ Insertion de 12 grappes fixes composées de 24 crayons en hafnium
- ❖ Localisation: assemblages combustibles en périphérie du cœur
- ❖ Objectif de réduction du flux neutronique au niveau de ces assemblages = 45 %

Les propriétés de l'hafnium

- ✓ **Neutrophage**
- ✓ Métal argenté ductile
- ✓ Naturellement présent dans les minéraux de zirconium
- ✓ Excellentes propriétés mécaniques
- ✓ Résistant à la corrosion

Tableau: comparaison des sections efficaces de l'hafnium et des éléments composant les grappes de contrôle AIC des réacteurs 900 MWe

Élément	Hafnium (Hf)	Argent (Ag)	Indium (In)	Cadmium (Cd)
Section efficace (barns)	111	68	193	2349

- ➔ L'hafnium absorbe les neutrons en périphérie du cœur et réduit donc les fuites neutroniques. Or, celles-ci sont représentatives de la puissance neutronique du réacteur et sont mesurées pour assurer le pilotage de celui-ci. La section efficace de l'hafnium permet alors de ne pas absorber en totalité les neutrons de fuite.

3. Expérimentation du projet en cours



Conclusion

- ✓ Les grappes en hafnium représentent un moyen novateur pour limiter le vieillissement des cuves des réacteurs 900 MWe et donc pour augmenter leur durée d'exploitation
- ✓ Cette augmentation représente un réel enjeu écologique, notamment en terme de déchets radioactifs, (cela éviterait le démantèlement) et un important enjeu économique pour l'ensemble du parc nucléaire français