

## Redémarrage des réacteurs Belges de Doel 3 et Tihange 2

En juin 2012, à l'occasion de la 3<sup>ème</sup> visite décennale du réacteur Doel 3, Electrabel a procédé à un contrôle par ultrasons des viroles de la cuve du réacteur au droit du cœur, à l'identique de ce qui est pratiqué pour le parc nucléaire français. Ce contrôle, venant compléter celui prescrit par le code ASME en vigueur pour le parc nucléaire belge, a révélé la présence de plusieurs milliers de défauts.

En août 2012, les contrôles effectués sur la cuve du réacteur Tihange 2 ont également révélé la présence de défauts analogues, mais en nombre plus réduit.

Electrabel a alors transmis à l'autorité de sûreté belge AFCN en 2013 un dossier de justification de l'absence de nocivité de ces défauts en conditions de fonctionnement normales et accidentelles. Ce dossier de justification comportait plusieurs volets relatifs à :

- la détection et la caractérisation des défauts ;
- la recherche de l'origine des défauts et leur risque d'évolution ;
- l'impact de ces défauts sur les caractéristiques mécaniques du matériau de la cuve ;
- l'analyse de la nocivité des défauts pour toutes les conditions de fonctionnement.

L'AFCN a procédé à un examen méticuleux de ce dossier. Pour ce faire, l'AFCN a mis en place des groupes de travail composés d'experts nationaux et internationaux auxquels l'ASN et l'IRSN ont contribué.

À l'issue de cet examen, en mai 2013, l'AFCN a donné son accord pour le redémarrage des deux réacteurs. L'analyse de l'AFCN a fait l'objet d'un rapport public daté de mai 2013.

Les défauts ont été attribués à la présence d'hydrogène dans le matériau utilisé lors de la fabrication des cuves (défauts dits DDH).

Trois points restaient alors à approfondir dans un délai d'environ un an, pour statuer définitivement sur le conservatisme des études de nocivité présentées et sur la poursuite de l'exploitation de ces réacteurs. Ces trois points étaient les suivants :

1. la qualification du procédé de contrôle par ultrasons utilisé ;
2. la confirmation des hypothèses retenues dans le dossier de 2013 pour ce qui concerne la ténacité après irradiation du matériau présentant des DDH, par la réalisation d'un programme d'essais sur un matériau représentatif présentant des DDH ;
3. des essais sur des éprouvettes présentant de multiples défauts.

De nouveaux groupes d'experts ont été constitués pour examiner ces points. L'IRSN a participé au groupe de travail chargé d'apprécier la ténacité des cuves affectées de DDH.

### Détection et caractérisation des défauts

Les contrôles réalisés avec la machine d'inspection en service mise en œuvre en 2012 sur les cuves des réacteurs Doel 3 et Tihange 2 n'avaient pas vocation à détecter des défauts parallèles à la paroi de la cuve (comme le sont les DDH), mais des défauts perpendiculaires à cette paroi, qui sont potentiellement plus nocifs. Lors des contrôles, seuls des défauts sensiblement parallèles à la paroi de la cuve ont été détectés. Des incertitudes demeuraient néanmoins sur la fiabilité de la détection et de la caractérisation de ces défauts.

Une qualification du procédé utilisé pour la détection de ces défauts dans toute l'épaisseur des cuves et leur caractérisation a donc été entreprise sur des maquettes comportant des défauts analogues. Cette qualification a conduit à abaisser le seuil de détection et à modifier la procédure d'estimation de la taille des défauts.

Le procédé ainsi qualifié a été mis en œuvre à l'été 2014 sur les cuves des réacteurs Doel 3 et Tihange 2. Les nombres de défauts ont été revus à la hausse ainsi que la taille moyenne des défauts, du fait des modifications entre le procédé utilisé lors des contrôles de 2012 et celui utilisé lors des contrôles de 2014. A seuil de détection et traitement similaires, il n'a pas été constaté en 2014 d'évolution des défauts détectés en 2012.

Sur la base des éléments communiqués par l'AFCN, l'IRSN estime que ce procédé de contrôle a démontré sa capacité à détecter et à caractériser les défauts rencontrés. L'IRSN rappelle qu'après la découverte de défauts sur les cuves belges, un procédé similaire a été mis en œuvre sur un certain nombre de cuves en France pour confirmer l'absence de défauts du même type.

### Origine et évolutivité des défauts

Les défauts ont été caractérisés comme étant des défauts dus à l'hydrogène (DDH) du fait de leur orientation et de leur localisation (dans les zones de ségrégation). De tels défauts peuvent apparaître dans les pièces forgées lors de leur refroidissement lorsque le dégazage par traitement thermique après le forgeage ne permet pas d'éliminer suffisamment l'hydrogène présent dans l'acier.

Des investigations ont été menées par Electrabel sur une portion de virole de générateur de vapeur (dénommée VB395) rebutée par Areva du fait de la présence de DDH. Ces investigations ont confirmé que les DDH sont localisés dans les zones de macroségrégation et plus particulièrement dans les zones fortement ségréguées (veines sombres). Tout comme les veines sombres, les DDH sont quasi-parallèles à la peau interne de la cuve.

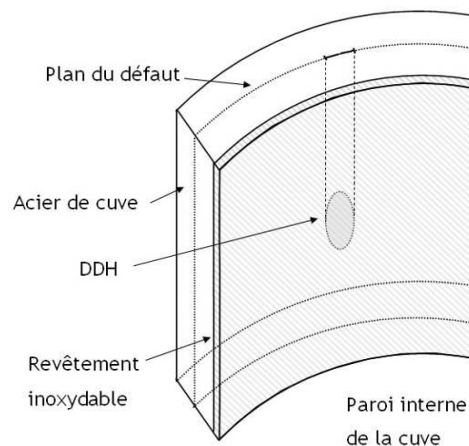


Schéma d'un défaut dû à l'hydrogène (DDH)

Les travaux d'Electrabel ont montré qu'aucune évolution par fatigue des DDH n'était à attendre, le dommage de fatigue étant très faible dans les viroles de cœur. En outre, l'hypothèse de perméation de l'hydrogène dans le matériau, qui pourrait contribuer à de nouveaux défauts ou à l'évolution des défauts présents, a également été écartée.

L'IRSN partage l'analyse et les conclusions des experts sur l'origine des défauts observés sur les cuves des réacteurs Doel 3 et Tihange 2. Pour l'IRSN, les prochains contrôles des cuves devraient permettre de confirmer l'absence d'évolution des défauts.

#### Caractéristiques mécaniques

Un programme d'essais important a été mené par Electrabel dans le but de vérifier le conservatisme de son estimation de la ténacité après irradiation du matériau affecté de DDH. Ces essais ont porté sur :

- deux reliquats de matière provenant de la fabrication des cuves des réacteurs Doel 3 et Tihange 2, ne contenant pas de DDH ;
- une portion de virole de générateur de vapeur Areva (VB395), contenant des DDH ;
- une bride de cuve allemande (KSO2), contenant des DDH.

Les pièces forgées VB395 et KSO2 ont été réalisées dans des aciers de nuances proches de celui des cuves des réacteurs Doel 3 et Tihange 2 (A508 Cl3). Elles présentent une densité de défauts comparable à celle des cuves de ces deux réacteurs.

Les résultats des essais effectués sur les deux pièces VB395 et KSO2 montrent que la ténacité du matériau ne diffère pas significativement selon l'emplacement de la zone analysée : entre les DDH, en dehors des DDH et au niveau des DDH. Le groupe d'experts en charge de l'analyse des résultats d'essais en a conclu que la présence de DDH n'affecte pas la ténacité du matériau.

Les résultats d'essais sur la pièce VB395 ont néanmoins montré une fragilisation sous irradiation bien supérieure à celle attendue alors que les résultats des essais relatifs à la pièce KSO2 sont cohérents avec les prévisions de fragilisation sous irradiation.

Différents éléments, liés à la fabrication et aux traitements thermiques de la pièce VB395, ont été évoqués pour tenter d'expliquer que les résultats relatifs à cette pièce ne sont pas représentatifs des viroles de cuve des réacteurs Doel 3 et Tihange 2, pour ce qui concerne la fragilisation sous irradiation. L'IRSN souligne toutefois que les causes de ce comportement atypique ne sont pas identifiées précisément.

Au final, une nouvelle formule de fragilisation sous irradiation a été établie par Electrabel qui tient compte de la fragilisation observée après une irradiation correspondant à 40 ans de fonctionnement pour le matériau de la pièce VB395. Cette formulation permet de couvrir l'ensemble des résultats disponibles sur les matériaux avec DDH et leur dispersion.

Sur la base des éléments à sa disposition, l'IRSN note que la prévision de la fragilisation à 40 ans de l'acier de ces cuves en présence de DDH apparaît conservatrice, compte tenu des données retenues pour couvrir l'ensemble des résultats disponibles.

L'IRSN note toutefois que les causes du comportement atypique de la pièce forgée VB395 ne sont pas identifiées précisément ; un programme de recherche nécessiterait d'être mis en place pour poursuivre les investigations déjà menées par Electrabel.

### Nocivité des défauts à l'égard du risque de rupture

L'analyse du risque d'amorçage de défauts en condition de fonctionnement normale ou accidentelle a été menée selon une approche déterministe en considérant les coefficients de sécurité prescrits par l'ASME.

Cette analyse fait intervenir les tailles et orientations des défauts détectés ainsi que la ténacité estimée à 40 ans selon la formule de fragilisation définie après le programme d'essai.

La méthode de calcul de la nocivité de défaut avec prise en compte des interactions entre défauts a été évaluée par un panel d'experts internationaux. Son conservatisme n'a pas été remis en cause.

Compte tenu de leur orientation, les DDH sont peu sollicités et ne présentent pas de risque pour la tenue de la cuve.

L'IRSN relève que les experts n'ont pas remis en cause la méthode d'estimation de la nocivité des défauts. Ceci n'appelle pas de remarque de l'IRSN en l'état des informations disponibles.

### Mesures complémentaires

La température minimale de l'injection de sécurité a été relevée à 40 °C pour le réacteur Doel 3, dont la cuve est affectée par le plus grand nombre de DDH. Cette mesure de précaution vise à limiter l'impact des chocs froids sur la cuve en cas de mise en service de l'injection de sécurité du réacteur. Cette disposition n'appelle pas de remarque de l'IRSN pour ce qui concerne la protection de la cuve.

Un contrôle par ultrasons de la cuve est prévu lors du premier arrêt pour rechargement des réacteurs Doel 3 et Tihange 2 puis au moins tous les trois ans, afin de s'assurer de l'absence d'évolution des défauts. L'IRSN considère que cette disposition est appropriée.

### Conclusion

L'IRSN note le travail important effectué par l'autorité de sûreté belge et ses appuis techniques, notamment BEL V, membre de l'Association Européenne des organismes scientifiques et techniques de sûreté nucléaire (ETSON), pour motiver cette autorisation.

L'IRSN relève que les travaux menés par Electrabel ont permis de conclure à l'absence de nocivité des défauts affectant les cuves des réacteurs Doel 3 et Tihange 2. Cette conclusion n'appelle pas de commentaire de l'IRSN en l'état des éléments dont il dispose. L'institut estime en tout état de cause satisfaisant le renforcement des contrôles en service des cuves pour s'assurer de l'absence d'évolution des défauts présents. Il est en effet prévu un contrôle par ultrasons des cuves lors du premier arrêt pour rechargement puis au moins tous les trois ans.

Il convient enfin de préciser que, bien que des défauts de type DDH n'aient pas été observés sur les cuves françaises, un programme d'essais a été mis en place par l'IRSN pour approfondir sa connaissance de l'impact des DDH sur la ténacité du matériau à l'état non irradié et conforter son expertise des méthodes d'analyse de la nocivité de défauts multiples.