

LES EXAMENS NON DESTRUCTIFS DE L'EPR

THE « EUROPEAN PRESSURIZED REACTOR »'s NDE

P. BLIN: EDF CEIDRE - St Denis
F. CHAMPIGNY : EDF CEIDRE – St Denis
L. BERHAULT : EDF CNEN - Montrouge

Résumé

En mai 2006, EDF a décidé d'engager la construction du premier réacteur EPR (European Pressurized Reactor) sur le site de Flamanville. La tranche EPR de Flamanville 3 est la première tranche à être soumise aux Arrêtés du 10/11/99 et du 13/12/05 dès sa conception. A ce titre, les examens non destructifs prévus pour l'inspection en service et mis en œuvre à partir de la Visite Complète Initiale (VCI) devront être disponibles et faire l'objet de gestes de qualification formelle. La VCI est une inspection complète du circuit primaire principal (CPP) et du circuit secondaire principal (CSP). Elle consiste à effectuer avant le premier chargement, tous les END qui seront réalisés en service dans les mêmes conditions, de façon à disposer d'une référence fiable permettant de détecter l'apparition ou l'évolution d'un éventuel endommagement en service. La Visite Complète Initiale (VCI) sur site est prévue à partir de mi 2010. Le programme prévoit le développement et la qualification d'END compatibles avec les enjeux de cette nouvelle génération de réacteurs. La présentation aborde :

- les principaux objectifs de l'EPR,
- les impacts sur les END des principales évolutions de conception,
- les principaux objectifs de contrôle,
- un rappel du processus de qualification,
- les orientations techniques retenues compatibles avec les enjeux en terme de radioprotection et de durées d'arrêts de tranche de l'EPR,
- les grandes lignes du programme d'inspection en service.

Abstract

In May 2006, Electricité de France decided to launch the building of the first European Pressurized Reactor on the Flamanville site in Normandy. The "Flamanville 3" EPR unit is the first one to be subjected to the French Ministerial Orders of the 10th November 1999 and of the 13th December 2005 from the design phase. According to these orders, the non destructive examination (NDE) planned for the in service inspection (ISI) and for the pre service inspection (PSI) must be operational with a compulsory formal qualification. The PSI is a complete inspection of the main primary and secondary systems. The PSI's aim is to perform before the first core loading all the NDE planned for the future ISI in the same conditions, in order to have a reliable reference for the detection or for the evaluation of the possible damage during the ISI. The "Flamanville 3" PSI is planned from mid 2010. The program consists of the development and the qualification of the NDE compatible with this new generation reactor's stakes.

The presentation is about:

- *the main EPR's goals and the technological evolutions,*
- *the design impacts on the NDE,*
- *the main inspection goals,*
- *the NDE qualification process,*
- *the technical approach in order to be compatible with the radioprotection and the outage duration goals,*
- *the main ISI's framework.*

INTRODUCTION

En mai 2006, EDF a décidé d'engager la construction du premier réacteur EPR (European Pressurized Reactor) sur le site de Flamanville. La tranche EPR de Flamanville 3 est la première tranche à être soumise aux Arrêtés du 10/11/99 [2] et du 23/12/05 [3] dès sa conception. Au titre des articles 8 et 9 de l'arrêté du 10/11/99, les examens non destructifs prévus pour l'inspection en service et mis en œuvre à partir de la Visite Complète Initiale (VCI) devront être disponibles et faire l'objet de gestes de qualification formelle. La VCI est une inspection complète du circuit primaire principal (CPP) et du circuit secondaire principal (CSP). Elle consiste à effectuer avant le premier chargement, tous les END qui seront réalisés en service dans les mêmes conditions, de façon à disposer d'une référence fiable permettant de détecter l'apparition ou l'évolution d'un éventuel endommagement en service. La Visite Complète Initiale (VCI) sur site est prévue à partir de mi 2010. Le programme abordé ci-après prévoit le développement et la qualification d'END compatibles avec les enjeux de cette nouvelle génération de réacteurs.



Fig.1 - La future tranche EPR à Flamanville

LES PRINCIPAUX OBJECTIFS DE L'EPR : UNE DEMARCHE INDUSTRIELLE DE PROGRES

L'EPR est le résultat d'un processus « évolutionnaire » basé sur le REX des tranches du Palier N4 (France) et des tranches Konvoi (Allemagne) au bénéfice de la sûreté et des performances [1]. L'EPR répond à une démarche de progrès visant à :

- augmenter le niveau de sûreté avec des innovations telles que la redondance sur 4 trains des principaux systèmes de sauvegarde, la présence d'un réservoir d'eau à l'intérieur de l'enceinte, la présence d'une aire d'étalement de cœur fondu...
- améliorer le niveau de radioprotection avec une diminution de la dose collective annuelle par réacteur,
- améliorer les objectifs environnementaux avec une diminution des déchets,
- augmenter le niveau de performances avec une puissance électrique nette supérieure à 1550 MWe, une durée de vie de 60 ans, une disponibilité de l'ordre de 91 %...

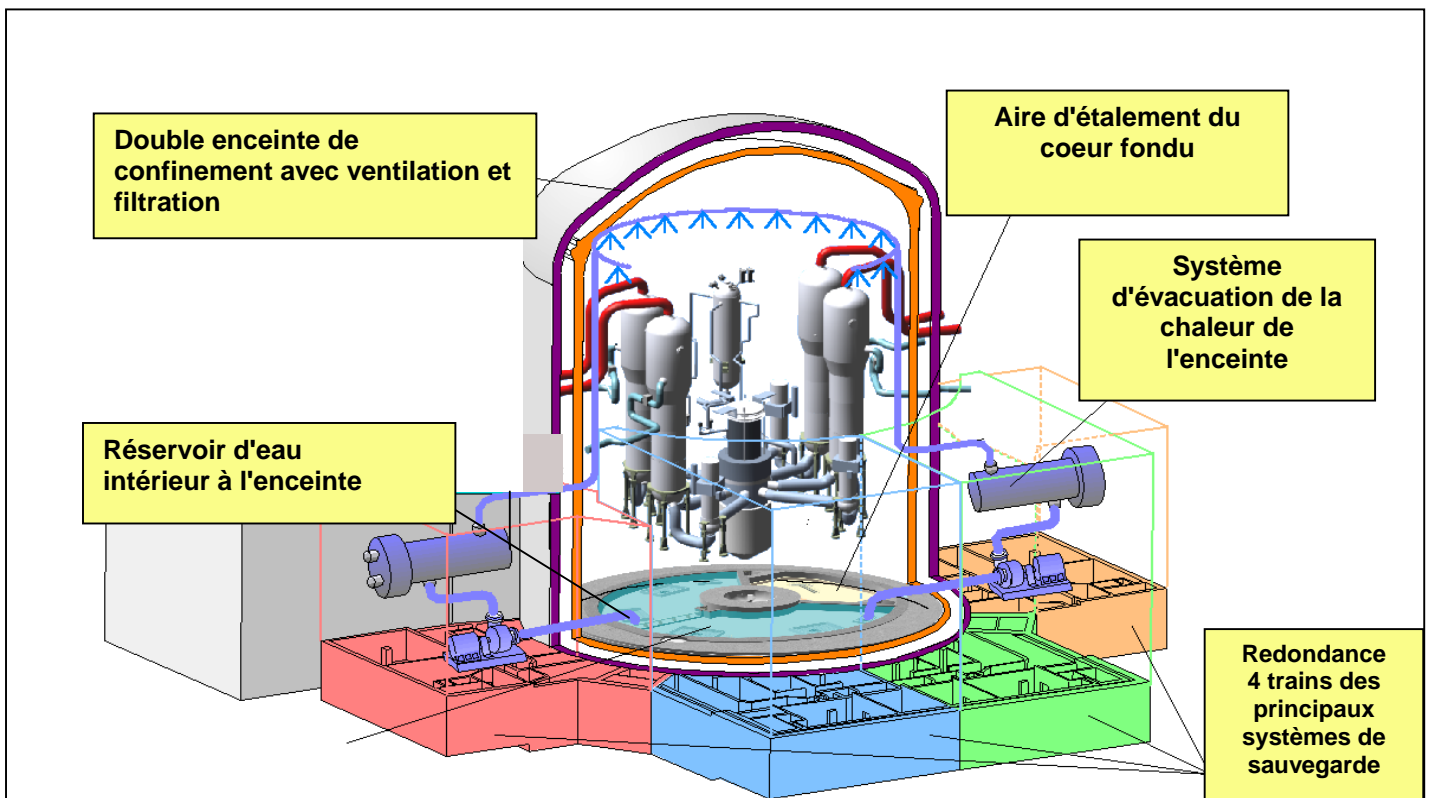


Fig.2 - Les principaux systèmes de sauvegarde de l'EPR

L'IMPACT SUR LES END DES PRINCIPALES EVOLUTIONS DE CONCEPTION DE L'EPR

La Cuve

La cuve, de dimensions plus importantes, bénéficie d'améliorations notables. Le nombre de soudure à inspecter est diminué de part la réalisation de la virole porte tubulure et de la bride de cuve en une seule pièce monobloc. L'implantation des tubulures sur cette virole est de type posé (Set On). Ce nouveau design requiert une adaptation du procédé de contrôle existant. Par ailleurs, l'instrumentation du cœur qui nécessitait des pénétrations fond de cuve sur les tranches actuelles du parc est dorénavant implantée sur le couvercle.

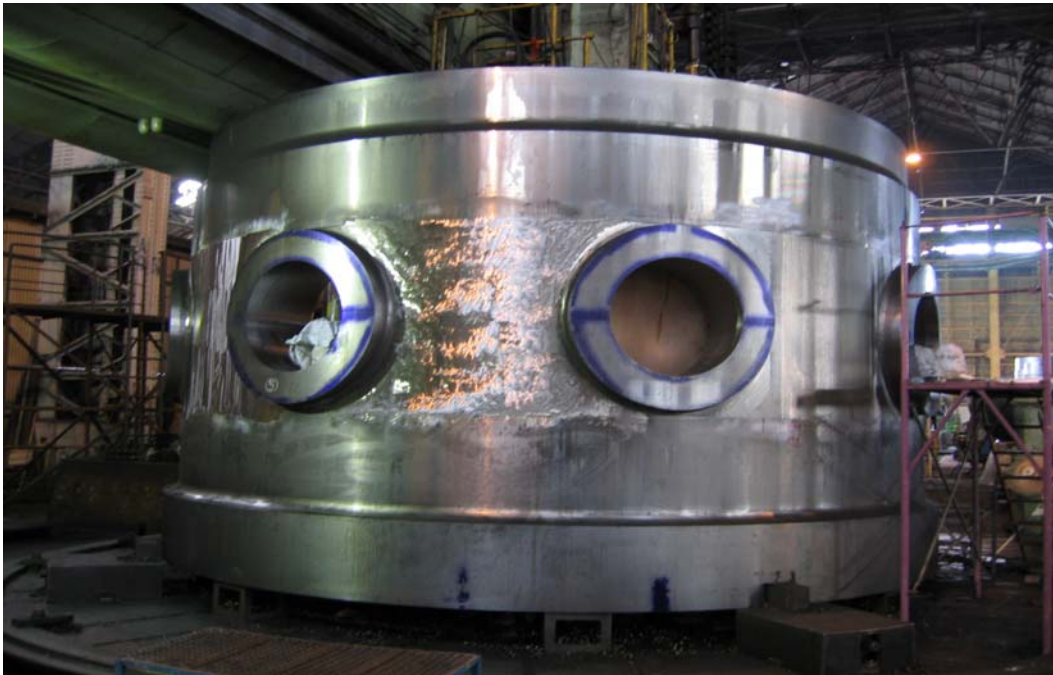


Fig.3 - La virole porte tubulure de conception monobloc

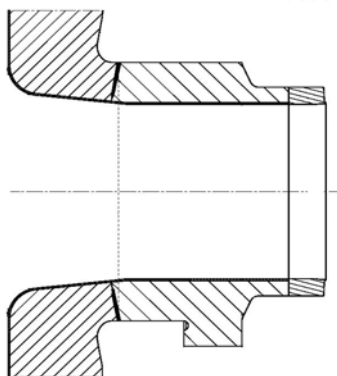


Fig.4 - Tubulures EPR de type SET ON

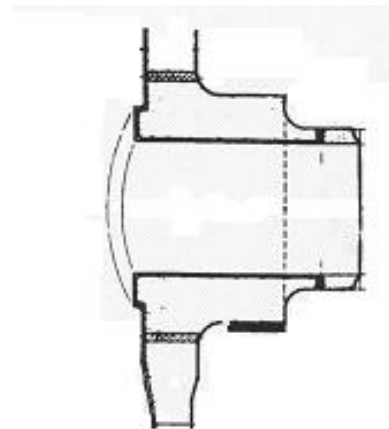


Fig.5 – Tubulures N4 de type SET IN

Le couvercle de cuve et les mécanismes de commandes de grappes (MCG)

L'évolution majeure pour les END est la nouvelle conception des enveloppes des mécanismes de commande de grappe. La conception issue des tranches allemandes de type Konvoi comprend une liaison boulonnée et une partie du carter en acier martensitique permettant un plus faible encombrement. Cependant, chacune des 89 enveloppes comprend 4 soudures de résistances dont 2 soudures bimétalliques qui devront faire l'objet d'examen en service. Ces END entièrement nouveaux sur le Parc français présentent un enjeu fort en terme de contrôlabilité et d'accessibilité. Il est envisagé de mettre en œuvre des procédés automatisés utilisant les courants de Foucault et les ultrasons en fonction de l'accessibilité et de l'épaisseur des soudures.

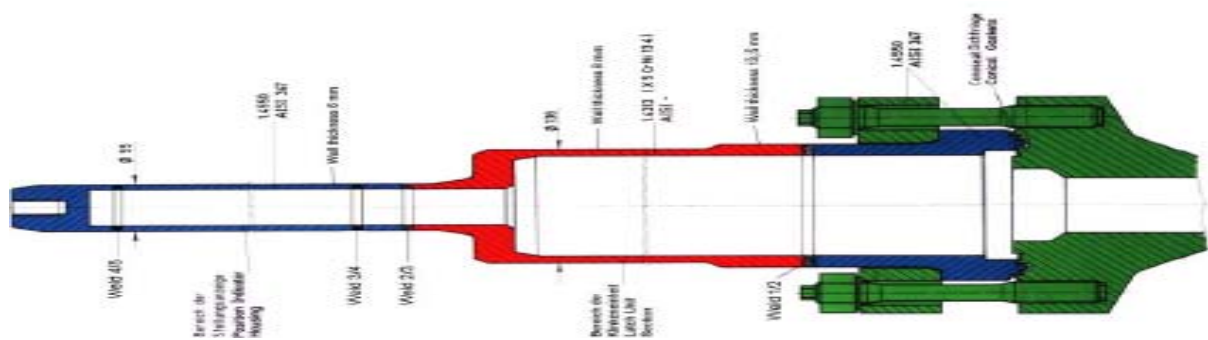


Fig.6 - L'enveloppe des MCG avec la liaison boulonnée et les soudures de résistance

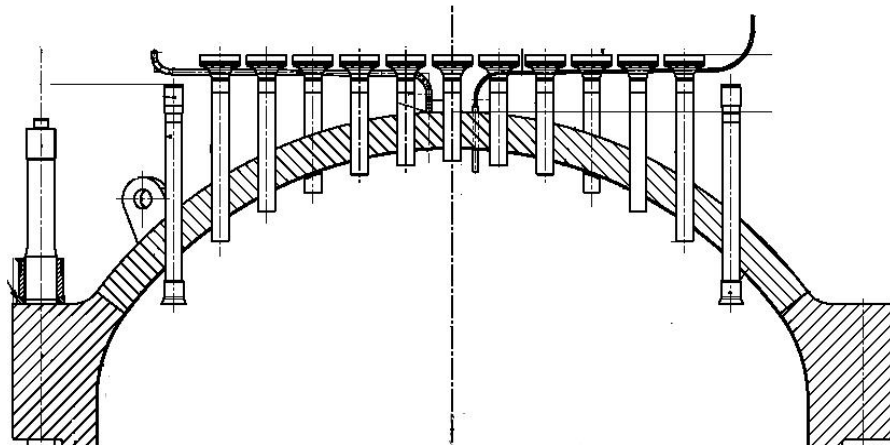


Fig.7 - Le couvercle avec les traversées (grappes et instrumentation)

Les tuyauteries primaires

Les tuyauteries primaires sont en acier inoxydable austénitique forgé avec une réduction du nombre de soudures, la branche froide étant entièrement monobloc. Les soudures homogènes sont réalisées avec le procédé TOCE (TIG orbital chanfrein étroit) tandis que les soudures bimétalliques de liaison avec la cuve et les GV sont réalisés avec le procédé TCE avec remplissage en alliage 52. La conception de ces tuyauteries est basée sur la démonstration d'exclusion de rupture, qui constitue une particularité par rapport aux tranches du parc. Les conséquences de ce concept sont la suppression de tous les dispositifs anti-débattement, un meilleur tracé des lignes et une meilleure accessibilité. Néanmoins, l'application de ce principe conduit à une surveillance en exploitation renforcée. Ces soudures (9 homogènes et 4 bimétalliques par boucle) feront l'objet d'exams volumiques privilégiant des techniques ultrasonores avec des moyens automatisés. L'enjeu principal de cet END, qui ne dispose que d'expériences limitées sur le parc actuel, est l'obtention des performances pour ce type d'assemblages (matériaux austénitiques de forte épaisseur).

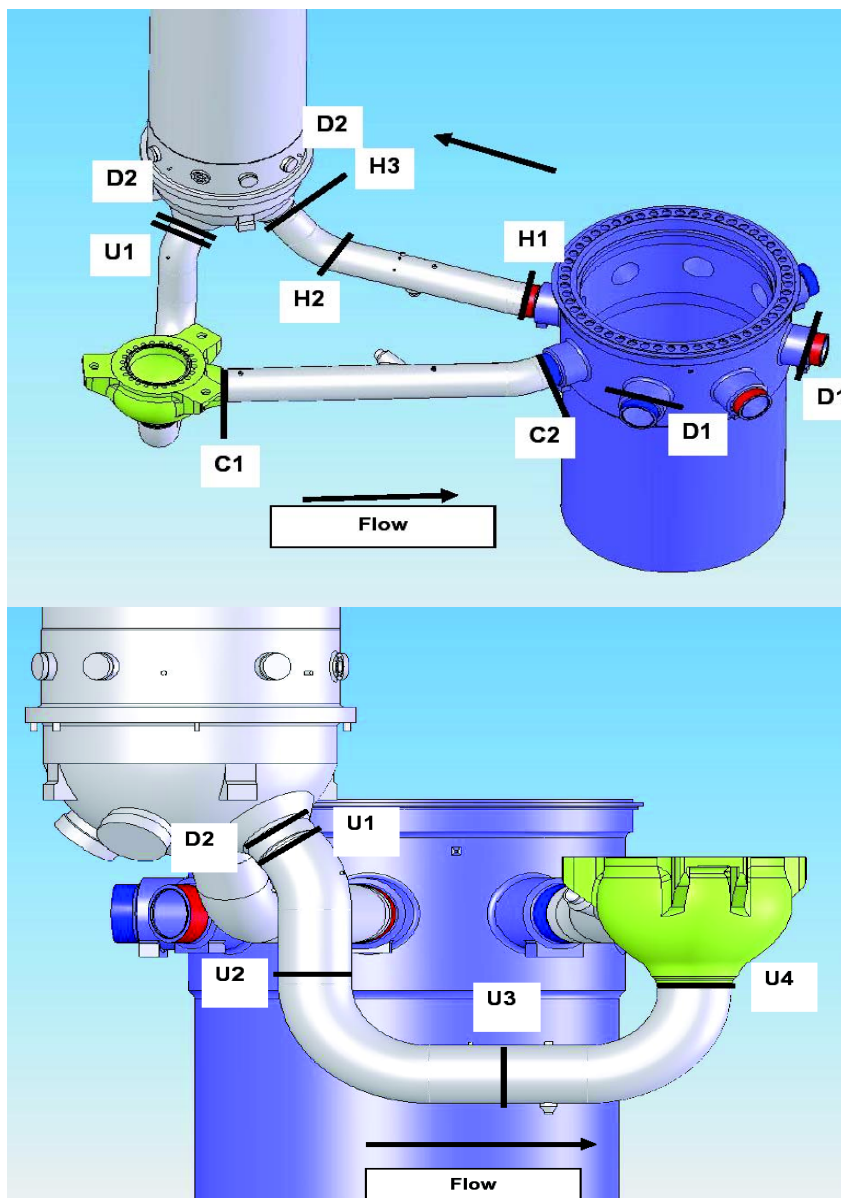


Fig.8 - Boucle primaire : branches chaude, froide et en U

Le pressuriseur

Le pressuriseur, et plus particulièrement le dôme a fait l'objet d'évolutions de conception importantes. Il dispose de 3 tubulures de lances d'aspersion implantées sur la virole supérieure et séparée des 4 tubulures de décharges sur le dôme. Le trou d'homme est maintenant en position verticale centrée sur le dôme. La présence d'écopes sur les tubulures de décharge et les lances d'aspersion sont en contre-partie de nouveaux obstacles qui rendent difficile l'usage de la radiographie panoramique pour l'examen de ces soudures d'implantation. Un basculement vers un examen ultrasonore est à l'étude.

En partie inférieure, la nouvelle disposition de la manchette thermique de la soudure bimétallique de la ligne d'expansion (inversée par rapport au parc) devrait diminuer de façon notable la dosimétrie de cette zone et faciliter en conséquence les examens du fond du pressuriseur.

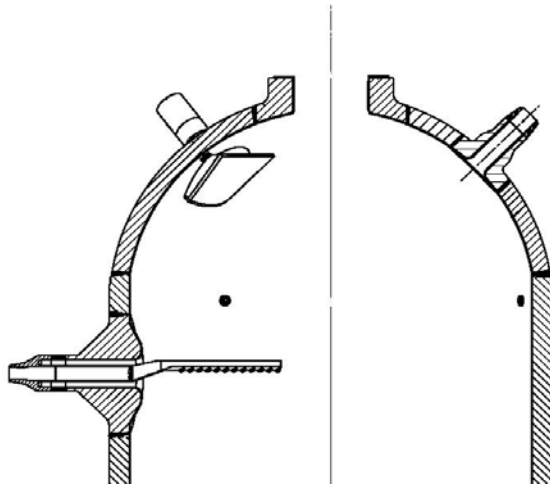


Fig.9 - Le dôme du pressuriseur avec les tubulures de décharges et la virole supérieure avec les lances d'aspersion

Les générateurs de vapeur

Le générateur de vapeur globalement proche de la conception du palier N4 a été optimisé au niveau de la géométrie de la boîte à eau pour un meilleur accès aux tubes périphériques par les porteurs d'équipements END ou de maintenance. Pour la partie secondaire, les distributions d'eau alimentaire normale (ARE) et de secours (ASG) ont évolué pour diminuer les sollicitations thermiques pénalisantes (stratification). La conséquence de ces évolutions est la présence de soudures bimétalliques raccordant les manchettes thermiques des tores aux tubulures d'eau alimentaire, soudures qui devront faire l'objet d'un END volumique. Le faisceau tubulaire composé de tubes identiques à ceux du palier N4 fera l'objet de contrôles similaires, cependant l'impact des durées d'arrêt de tranche EPR nécessitera des cadences plus élevées que sur le parc.

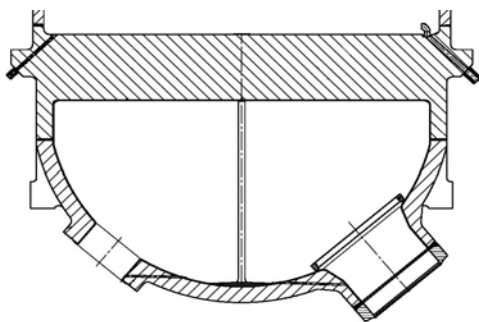


Fig.10 – Les boîtes à eau du GV

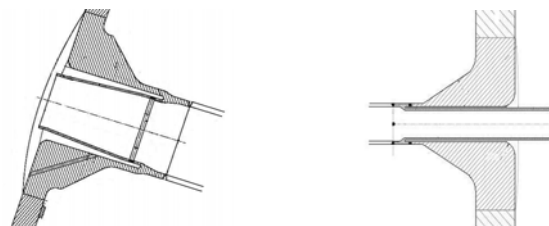


Fig.11 – Manchettes thermiques ARE et ASG

LES PRINCIPAUX OBJECTIFS DE CONTROLE

La démarche de conception de la chaudière EPR s'est efforcée de retenir les meilleurs choix et les meilleures pratiques des parcs français et allemand, en intégrant un retour d'expérience très riche. Sur la base de ce REX, des optimisations ciblées ont généralement permis de s'affranchir de la présence de zones sensibles à des phénomènes ou modes d'endommagement identifiés. En outre, les procédés de fabrication mis en œuvre sur le CPP et le CSP bénéficient d'une très large expérience et intègrent un état de l'art éprouvé. Un contrôle de fabrication rigoureux et conséquent est aussi assuré. L'ensemble de ces dispositions permet de réduire autant que possible les risques associés à la fabrication, et pouvant avoir un impact sur le programme d'inspection en service.

Ainsi, sur la base d'une conception et d'une fabrication robustes, il n'est généralement pas redouté d'endommagement en service. Pour cette raison, les applications END prévues pour l'EPR seront principalement soumises à des **qualifications « conventionnelles »**.

Le respect de l'intégrité de certains composants importants pour la sûreté de l'installation peut conduire au nom du principe de défense en profondeur, à examiner certaines zones de ces composants alors qu'aucune donnée de construction ou d'exploitation ne conduit à suspecter la présence d'un défaut susceptible de remettre en cause la sûreté ou l'intégrité de cette installation. La qualification conventionnelle a pour objet d'explicitier les performances de l'application (couverture de zone, sensibilité de détection, localisation des indications..)

Pour mémoire, les qualifications de type général ou spécifique concernent respectivement des endommagements présumés ou avérés dans une zone sensible.

LE PROCESSUS DE QUALIFICATION

Le processus de qualification [4] [5] [6] est un processus structuré et formalisé qui démontre et qui apporte la garantie que le procédé END respecte bien les exigences fonctionnelles (en terme de performances et de périmètre) de l'exploitant. Les différents acteurs du processus sont rappelés ci-après :

- L'exploitant qui définit les exigences fonctionnelles attendues (EDF-DPN-UNIE) sur la base des données d'entrée issues du projet EPR (EDF-DIN-CNEN).
- L'entité conceptrice qui instruit la qualification (EDF- Ceidre en liaison avec EDF-UTO en charge du pilotage des END dits automatisés).
- L'entité de qualification (Commission de Qualification).
- Le prestataire (Titulaire du contrat END).

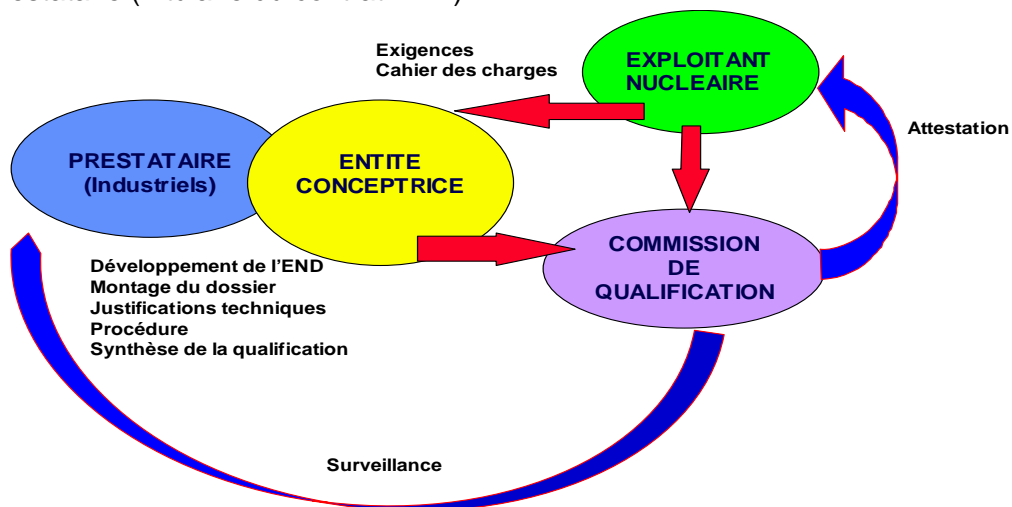


Fig. 12 – Principe du processus de qualification

LES ORIENTATIONS TECHNIQUES ET LES PRINCIPES RETENUS POUR LE PROGRAMME D'INSPECTION

La définition du programme d'inspection en service a fait l'objet d'une démarche en plusieurs étapes, l'objectif étant de définir les zones à contrôler avec le type de procédé retenu (US , radio, CF, ressuage ..) en mode automatique ou manuel en intégrant les objectifs de dosimétrie et de durée d'arrêt. L'établissement de ce programme ne peut se faire qu'à un certain stade du projet, ni trop tôt car les données d'entrées de conception doivent être suffisamment stabilisées, ni trop tard pour intégrer les délais de développement et de qualification.

Pour ce faire, il a été retenu d'être le plus proche possible de l'organisation inter-unités d'EDF en place actuellement pour les END du parc en exploitation et de prendre en compte le REX de ce parc. Une organisation de type projet a été retenue pour mener à bien ce programme.

Sur la base des données d'entrées (exigences sûreté, notes de calcul, conception des composants..) et en comparaison avec le palier N4, une « doctrine initiale » a été établie. A partir de cette doctrine, la définition précise des END à mettre en œuvre a du répondre à un champ de « contraintes » du projet EPR :

- La radioprotection dans le cadre de l'objectif cible de 0,35 H. SV/an.
- La durée des arrêts de tranche : 14 jours pour une visite partielle et 40 jours pour une visite complète.
- La faisabilité technique et industrielle en terme d'atteinte des exigences et en terme de durée de développement et de qualification pour être disponible à la VCI prévue de commencer mi 2010.

Les principes suivants ont été retenus :

- Utiliser au mieux les procédés existants en les adaptant pour répondre aux besoins d'END sur les zones EPR de conception similaires à celles du parc (procédés industriels et disposant d'un dossier de qualification).
- Tirer profit des meilleurs éléments de REX de l'instruction des qualifications de ces dernières années (montage et articulation de la démonstration de performances) en s'appuyant sur la modélisation et le bénéfice des travaux menés par la R&D d'EDF.
- Privilégier les techniques d'exams volumiques ultrasonores quand cela était possible (augmentation de la sécurité, intervention tuyauteries en eau, possibilité de coactivités ..).
- Retenir les END automatisés pour des zones présentant des contraintes évidentes de dosimétrie, d'accessibilité et/ou présentant un volume d'exams important. Cependant pour des raisons de capacité industrielle, de délais et de coûts de développement à rapprocher du caractère unitaire (à ce jour) de l'EPR et d'une intervention avec des outillages non contaminés en VCI, il convenait de limiter dans un premier temps le nombre d'END automatisés aux cas les plus pertinents.
- Impliquer davantage nos partenaires industriels dans le processus de qualification.
- Regrouper par famille les zones ou soudures similaires à contrôler pour limiter le nombre d'applications END.
- Se doter d'un lot de maquettes représentatives des principaux composants inspectés de la tranche EPR de Flamanville 3.
- Enfin, étudier dans la mesure du possible les possibilités de partage d'expérience avec la tranche EPR d'Olkiluoto en Finlande.

LE PROGRAMME D'INSPECTION

Le programme prévisionnel d'inspection de l'EPR France résultant de l'ensemble des données et de la démarche ci-dessus fait état d'environ 40 applications END sur le CPP et le CSP auxquelles il faut ajouter d'autres examens classiques de type télévisuel. A titre de comparaison, 75 applications qualifiées environ sont requises pour le parc en exploitation.

Sur ce programme, on notera que :

- La moitié est constituée d' END dits « automatisés » avec des équipements lourds et parfois complexes, l'autre moitié comprend des END dits « manuels » avec la mise en œuvre de la procédure d'examen par du personnel qualifié.
- Une douzaine sont des applications entièrement nouvelles à concevoir pour les spécificités de l'EPR, le solde étant issu d'applications existantes sur le parc et nécessitant des adaptations.
- La moitié est basée sur des techniques ultrasonores (à comparer à un ratio de l'ordre de 35 % sur le parc) impliquant une nette diminution des applications radiographiques.

Ce programme comprend entre autres les examens:

- des soudures homogènes et bimétalliques des enveloppes des MCG,
- des soudures homogènes et bimétalliques des boucles primaires,
- des soudures de la cuve et de la boulonnerie du couvercle de cuve,
- des soudures des enveloppes des générateurs de vapeur et du pressuriseur,
- des tubes des générateurs de vapeur,
- des soudures des canalisations du CSP (vapeur et eau alimentaire).

CONCLUSIONS

EDF s'est engagé dans la construction du premier réacteur de type EPR sur le parc français pour anticiper les futurs besoins de renouvellement des moyens de production d'électricité. Pour répondre aux obligations réglementaires de l'Arrêté d'Exploitation du 10/11/99 et aux objectifs de la VCI de Flamanville 3 prévue à partir de mi 2010, EDF a initié un programme de développement et de qualification d'END. La démarche de conception et la fabrication de cette nouvelle tranche est très robuste et dans l'ensemble aucun endommagement n'est redouté. En conséquence le programme d'inspection en service requiert une majorité d'examens au titre de la défense en profondeur.

Cependant, les évolutions de conception de certains composants conduisent EDF à faire développer des nouveaux équipements END pour inspecter de nouvelles zones telles que les soudures des MCG et les soudures des boucles primaires. Ces nouveaux END présentent des enjeux en terme de démonstration de performance vis à vis des matériaux rencontrés, du design des assemblages et en terme de délais de mise à disposition de ces équipements. D'autres procédés END seront adaptés des procédés existants actuellement sur le parc en exploitation, tels les examens de la cuve.

Ainsi, depuis plusieurs mois EDF et ses partenaires industriels sont mobilisés dans ce programme pour répondre aux objectifs de sûreté et aux performances industrielles ambitieuses de cette nouvelle tranche.

Références bibliographiques

[1] EDF DIN CNEN : Projet EPR France.

[2] Arrêté du 10/11/1999 relatif à la surveillance en exploitation du CPP et du CSP des réacteurs nucléaires à eau sous pression.

[3] Arrêté du 13/12/2005 relatif aux équipements sous pression nucléaire.

[4] La qualification des examens non destructifs à EDF- P. Blin – Cofrend – Mai 2005

[5] RSE-M : Règles de Surveillance en Exploitation des matériels Mécaniques des îlots nucléaires REP - 1997-2005.

[6] European methodology for qualification, ENIQ, réf EUR 17299 EN 1997.