

**SYSTEME JASPER D'INSPECTION DES GRAPPES DE COMMANDE.
RETOUR D'EXPERIENCE**
*JASPER SYSTEM FOR RCCA INSPECTION.
FEEDBACK FROM EXPERIENCE*

D. MORAS, T. PASQUIER (INTERCONTROLE *)

Résumé

Le système JASPER, conçu pour l'examen des gaines des crayons de grappes de commande des réacteurs de type REP, est qualifié et mis en œuvre depuis mai 2006. Deux bancs sont opérationnels depuis début 2007 et trente inspections ont été réalisées.

Les performances, supérieures à celles de l'équipement utilisé jusqu'alors tant en termes de précision des mesures qu'en durée d'examen, sont confirmées par des revalidations systématiques effectuées sur site permettant de vérifier que les performances qualifiées sont conservées.

La nouvelle technique de détection des dégradations, basée sur l'utilisation des ultrasons pour la totalité de la gaine et les courants de Foucault pour la détection de la fissuration, a permis d'améliorer la performance globale de l'examen (meilleure capacité de détection pour une gamme de dégradations plus étendue).

Les données ultrasonores sont enregistrées sur l'intégralité de la gaine à inspecter : l'exploitant a ainsi une connaissance exacte de l'état de la gaine des grappes et notamment des premières grappes revêtues dont l'évolution renseigne sur l'efficacité des solutions mises en place pour augmenter la durée de vie en réacteur de ces composants.

Abstract

The JASPER system, designed for the inspection of PWR RCCAs has been qualified and put in operation since May 2006. Two systems are now operational and thirty inspections have been performed.

The performances which are higher than those of the equipment used primarily, in terms of measurement accuracy and inspection duration, have been confirmed by the systematic revalidations carried out on site.

The new technique used for detection of the indications is based upon the use of UT on the whole length of the clad and ET for the detection of cracks; the global performance of the examination has thus been improved (better detection capability on a larger range of degradations).

UT data are recorded on the hole length of the tube: the Utility thus gets a precise knowledge of the status of the assemblies; more specifically the evolution of the first assemblies which were coated enables to assess the efficiency of the surface treatment that had been selected in order to reduce wear of the clad and extend the assembly lifetime.

* INTERCONTROLE, filiale d'AREVA NP, une coentreprise AREVA et Siemens.

1. INTRODUCTION

Les crayons de grappes de commande sont constitués d'une gaine en acier inoxydable (Nuance AISI 304L ou 316) de l'ordre de 4m de longueur dont la surface extérieure a reçu un traitement destiné à accroître leur résistance à l'usure (nituration ionique ou dépôt de chrome). La gaine de ces crayons est soumise à des contraintes thermiques, mécaniques et à une forte irradiation neutronique susceptibles de générer diverses dégradations. L'inspection des grappes a été pratiquée par AREVA-NP depuis 1985 (Fragema) et par Intercontrôle depuis 1990.

L'intégration des deux sociétés au sein du groupe AREVA et plus particulièrement dans AREVA NP a créé des synergies qui ont abouti au développement d'un nouvel outil d'inspection, conçu pour satisfaire les exigences de l'Exploitant en termes de productivité et de précision de positionnement des défauts : JASPER.

L'objectif de l'inspection est de détecter et caractériser les dégradations suivantes sur tous types de grappes 17x17 REP revêtues :

- usure,
- percement,
- gonflement,
- fissures,
- dégradations cumulées: « fissure+ gonflement » ou « gonflement + usure ».

Le système JASPER a franchi avec succès toutes les étapes de la qualification EDF .

2. DESCRIPTION DU SYSTEME

2.1 Partie mécanique et contrôle commande

Le manipulateur (Figure 1) du système JASPER est constitué de plusieurs plaques supportant:

- Des système de centrage pour le guidage des crayons,
- Les capteurs CND (UT et ET) :
 - Douze traducteurs de mesure UT et un traducteur de référence,
 - Douze capteurs de mesure ET et deux capteurs de référence ; il y a un capteur de référence pour chaque ensemble de six capteurs ET,
- Un codeur d'altitude,
- Un moto-réducteur avec un codeur permettant de mettre en rotation les capteurs UT,
- Des boîtiers de connexion pour tous les capteurs (ET,UT),
- Des câbles pressurisés pour les signaux C ND et le contrôle commande
- Quatre plaques de guidage verticales pour faciliter le positionnement de l'outil de déplacement de la grappe sur le manipulateur.

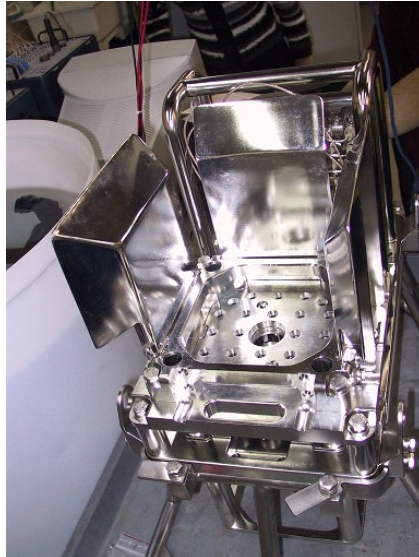


Figure 1: Le manipulateur

Les alésages de la plaque d'entrée sont munis d'un chanfrein pour faciliter l'insertion des crayons dans le manipulateur.

Un module spécifique distribue de l'air comprimé dans les câbles et les modules immergés afin d'éviter que l'eau ne pénètre dans ces éléments.

2.2 Description du matériel ET

L'appareil à courants de Foucault est une carte CF (TC7700) intégrée dans l'appareil à ultrasons Tomoscan III (Zetec). Douze bobines encerclantes et deux capteurs d'équilibrage intégrés sont reliés à l'appareil par un multiplexeur.

Les fréquences d'excitation des capteurs sont : 160 kHz et 500 kHz.

La vitesse de déplacement vertical étant de 3 à 5 m/min, la fréquence d'échantillonnage synchronisée avec le codeur d'altitude correspond à deux points par mm.

2.3 Description du matériel UT

L'appareil à ultrasons est un Tomoscan III (Zetec).

Les caractéristiques principales des 12 transducteurs UT sont :

- Fréquence centrale : 15 MHz,
- diamètre de tache focale : 0,25 mm

Un treizième transducteur UT est monté sur le système: c'est le capteur de référence qui est utilisé pour la mesure de la célérité des ultrasons dans l'eau pendant l'inspection. Le capteur comporte un transducteur dont la hauteur d'eau a été calculée avec précision lors de la caractérisation et qui « vise » une cible fixe, ce dispositif a pour objectif de déterminer en temps réel la vitesse des ultrasons dans l'eau au cours de l'inspection, fortement dépendante de la température.



Figure 2: Détail du système de rotation des capteurs UT

2.4 Logiciels

Les données UT et ET sont traitées par des logiciels dédiés :

- Grappa sert à l'analyse des données ET
- Neptune caractérise les indications détectées par UT.

3. DESCRIPTION DU CYCLE D'INSPECTION

3.1 Cycle d'acquisition des données

Les crayons de grappe de commande sont examinés dans la piscine de stockage du combustible, dans le bâtiment combustible (BK). La piscine est remplie d'eau borée dont la température est comprise entre 20°C et 50°C.

Le système d'examen est placé sur le « descenseur » de combustible de la piscine.

Chaque grappe est transférée de sa cellule de stockage jusqu'au système d'examen au moyen de l'outil spécial qui assure également les mouvements de montée et descente de la grappe dans la tête d'examen.

L'assemblage est déplacé verticalement dans le système d'examen par l'outil de manipulation des grappes de commande de la centrale. Chaque crayon est examiné par courants de Foucault lors de la descente et par ultrasons lors de la montée. Les douze traducteurs UT sont animés d'un mouvement de rotation asservie à la vitesse de déplacement vertical de la grappe à l'aide du codeur axial afin de garantir la régularité du pas d'examen. Douze crayons étant examinés simultanément, l'assemblage complet est examiné en deux passes après une rotation de 180°.

Le cycle d'acquisition est fortement automatisé grâce au logiciel d'acquisition des données, ce cycle inclut également les phases d'identification visuelle de la grappe à inspecter. Des messages affichés sur un écran LED permettent de tenir l'opérateur qui pilote le déplacement de la grappe constamment informé des gestes à réaliser :

- Descente rapide
- Mouvement lent vers le haut
- Rotation de 180°
- Identification de l'assemblage suivant
-

3.2 Grappe de calibration

La grappe de calibration est composée de 12 crayons de référence adaptés au type d'assemblage examiné :

Cet ensemble de calibration permet :

- D'effectuer une calibration de la mesure de diamètre externe (trajectoire) : cette calibration est faite sur une tige cylindrique pleine de section parfaitement circulaire et de diamètre connu,
- D'effectuer une calibration de l'origine angulaire pour chaque capteur tournant UT au moyen d'une entaille électro-érodée
- De vérifier la justesse du codeur axial à l'aide de deux gorges de 1mm de profondeur, distantes de 500 mm,
- De régler le gain des capteurs UT : ce réglage est effectuée sur la tige pleine,
- De normaliser le signal ET sur une gorge de 20% de profondeur.

De plus, cet assemblage spécifique remplit également une fonction de revalidation site. :

Chaque crayon de la grappe de calibration comporte :

- A. Un bouchon supérieur pour la calibration UT ,
- B. Une portion de gaine non revêtue pour le signal de transfert UT,
- C. Une portion de gaine non revêtue avec une entaille pour la calibration de la position angulaire des sondes UT,
- D. Une portion de gaine non revêtue pour la calibration ET incluant des défauts de référence. Cette portion contient de l'absorbant AIC et porte:
 - une gorge circonférentielle externe référencée G20, (80% de section résiduelle),
 - une gorge circonférentielle externe G60 aussi utilisée pour la technique UT (40% de section résiduelle)
 - une entaille traversante de longueur connue
 - une portion sans défaut entre les gorges ou entre une gorge et l'entaille, pour l'équilibrage.

Signal de transfert

Les blocs de transfert ET et UT sont également supportés par la grappe de calibration ; ils sont utilisés lors de la phase de revalidation site qui permet au préalable de chaque l'intervention de vérifier que les performances qualifiées sont conservées.

Les signaux de transfert UT sont obtenus à partir de dégradations de type usure (en forme de V ou de lunule) et de gonflements.

Le signal de transfert ET est obtenu à partir de l'entaille traversante.

4. MESURES EFFECTUEES

La détection et la caractérisation sont effectuées après une seule acquisition de données.

4.1 Grandeurs mesurées

Dans le cas des usures, la grandeur à mesurer est le pourcentage de section résiduelle du crayon et l'épaisseur de paroi résiduelle.

Dans le cas d'un percement, les grandeurs à mesurer sont :

- L'épaisseur résiduelle (inférieure ou égale à une valeur limite lorsque le percement se produit)
- La longueur de l'indication en nombre de profils transversaux (pseudo-sections).

Dans le cas du gonflement, la grandeur à mesurer est le diamètre externe du crayon.

Dans le cas d'une fissure, la grandeur à mesurer est obtenue en utilisant la méthode de mesure ET : c'est l'amplitude de la composante Y du signal ET pour la fréquence d'excitation la plus élevée.

Le crayon est entièrement balayé par les capteurs UT en montant, à vitesse lente de l'outil avec un pas d'hélice de 3mm. Ce pas est réduit à 1mm dans la zone comprise entre l'altitude 110 mm et la soudure de bouchon inférieur pour satisfaire aux exigences de précision de positionnement de l'exploitant.

4.2 Caractérisation

La mesure du profil externe est réalisée par profilométrie UT au moyen d'un traducteur $L0^\circ$. Pour cette mesure, l'étalonnage consiste à balayer une tige pleine en acier inoxydable, dont le diamètre a été déterminé par métrologie.

La mesure d'épaisseur de paroi du crayon est effectuée par analyse spectrale du signal A-scan acquis. Ces deux mesures sont obtenues à l'aide d'un seul et même traducteur.

La détection et la caractérisation des usures et du gonflement sont effectuées par traitement automatique des données. Lorsque l'analyse automatique ne permet pas d'interpréter les résultats et lorsque la différence entre le plus petit et le plus grand diamètre mesuré est supérieur à un seuil judicieusement choisi, le diagnostic donné par le système pour la zone concernée est « Analyse Manuelle ». C'est alors l'analyste qui effectue manuellement le recentrage du profil de crayon de façon à obtenir les caractéristiques de la dégradation détectée.

L'analyse spectrale consiste à détecter dans les signaux A-scan celui qui est généré par des réflexions multiples de l'onde sur les parois interne et externe du crayon, après suppression de l'écho d'entrée. L'analyse du contenu fréquentiel du signal A-scan associée à une courbe de conversion établie expérimentalement lors du développement du procédé permet d'obtenir l'épaisseur résiduelle de la paroi examinée. Cette technique ne nécessite aucun étalonnage puisque le résultat du mesurage dépend uniquement de la représentation A-scan analysée et de la courbe de conversion prédéterminée. La mise en œuvre de cette technique en France constitue une innovation technique majeure car elle permet d'effectuer une mesure directe des caractéristiques des défauts (épaisseur résiduelle) ; les méthodes classiques de mesure d'épaisseur ne sont pas applicables pour couvrir la totalité de la gamme de mesure à effectuer (1mm à 0,1mm).

4.3 Position angulaire des défauts

Un codeur angulaire délivrant 128 impulsions par tour sert à obtenir la position angulaire des défauts dans le référentiel de l'assemblage

Un exemple de la correspondance entre profils UT obtenus avec le logiciel Neptune et les défauts types est donné sur la figure 3.

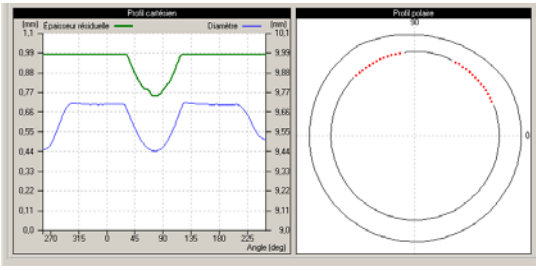
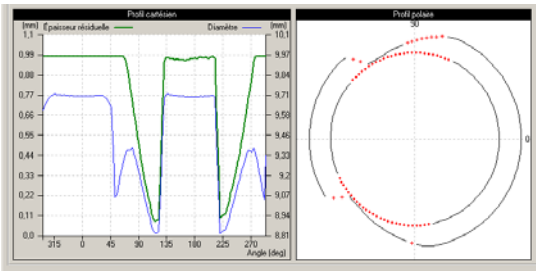
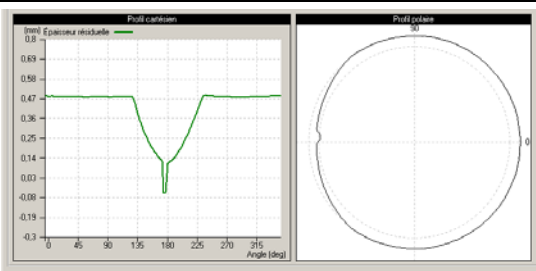
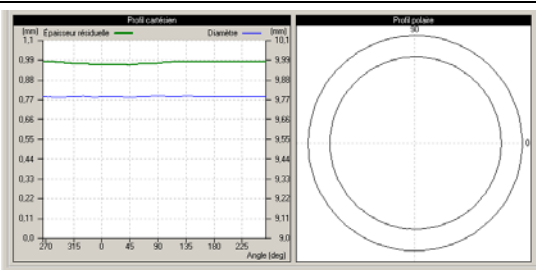
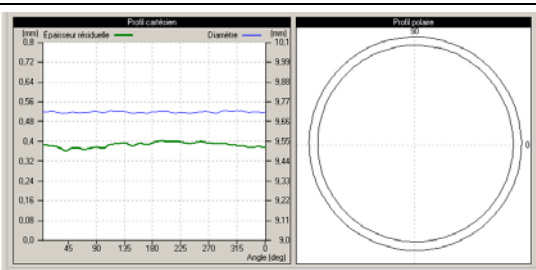
	<p>Usure en Lunule</p>
	<p>Usure en V</p>
	<p>Percement</p>
	<p>Gonflement</p>
	<p>Gonflement + usure</p>

Figure 3 : Profils UT fournis par le logiciel NEPTUNE et type de défaut associé

5. PERFORMANCES JUSTIFIEES DU SYSTEME JASPER

Le procédé Intercontrôle permet de garantir la détection des percements de gaine par application d'un seuil de notation spécifique basé sur la détection d'un défaut d'épaisseur résiduelle nulle. Le perçement est amorcé par l'usure et n'est notable qu'à condition de présenter une hauteur minimale de 6 mm et une ouverture de 0,5 mm. Ces dimensions sont utilisées pour le diagnostic, seul le dimensionnement en longueur est réalisé.

5.1 Répétabilité et reproductibilité d'une mesure

La technique mise en oeuvre permet une répétabilité de la mesure lorsque le manipulateur est repositionné sur une indication sans qu'il y ait eu changement de capteur ou de condition opératoire. Les résultats se situent dans la gamme de précision attendue.

La reproductibilité est vérifiée sur la même indication après remplacement d'un capteur ET ou UT, ou sur l'outil d'examen.

6. PERFORMANCES VALIDEES

La qualification a été obtenue pour la technique intrinsèque puis dans l'environnement de mise en oeuvre.

Les performances du système ont satisfait à toutes les exigences du Client. De plus :

- Le système permet d'effectuer la mesure des gonflements à $\pm 0,02$ mm, même en cas de dégradations cumulées
- La caractérisation des usures par mesure de la section résiduelles est possible avec une précision de ± 3 % même en analyse manuelle.
- La durée d'examen d'une grappe est toujours la même quel que soit le nombre d'indications détectées. Au total, cela constitue un gain de temps sur la durée totale d'une inspection.
- La mesure UT du profil a mis en évidence des anomalies géométriques non détectables par le capteur ET. De ce fait, la mesure ET n'est nécessaire que pour la détection des fissures.

La qualification a été définitivement prononcée après la première mise en service sur site, en mai 2006. Depuis, trente inspections ont été effectuées avec ce système.