

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE SACLAY

Service de Documentation

F91191 GIF SUR YVETTE CEDEX

CEA-CONF --8582

P2

EXPERTISE AUTOMATIQUE DE DEFAUTS DETECTES PAR COURANTS

DE FOUCAULT SUR DES AIGUILLES IRRADIEES

MARSOL, R.; CORNU, B.

CEA CEN Cadarache, 13-Saint-Paul-lez-Durance (France). IRDI, Dept. de Projets et de Fabrication d'Elements Combustibles Rapides

GAILLARD, P.

Institut Universitaire de Technologie, 60-Compiègne (France)

Communication présentée à : 6. International conference on non destructive testing methods

Strasbourg (France)

30 Sep - 3 Oct 1986

EXPERTISE AUTOMATIQUE DE DEFAUTS DETECTES PAR  
COURANTS DE FOUCAULT SUR DES AIGUILLES IRRADIEES

R. MARSOL , B. CORNU ( DPFER )  
P. GAILLARD ( U. T. COMPIEGNE )

## 1 INTRODUCTION

Les courants de Foucault se révèlent être d'une grande efficacité pour contrôler l'état d'endommagement des gaines de combustibles irradiées de réacteurs nucléaires.

Ces contrôles fournissent une grande quantité de signaux qui sont explorés visuellement ; l'association des différents événements décelés sur les deux composantes d'un signal permettent à l'expert en C.N.D. de localiser et de qualifier les différents défauts de nature métallurgique ou dimensionnelle le long de la gaine.

Dans le but d'automatiser ces contrôles , nous avons mis au point une série de procédures destinées à suppléer l'examen visuel des différents signaux CdF enregistrés.

Cette méthode s'applique au contrôle de santé des gaines en acier austénitique , c'est à dire à la détection de défauts localisés (de type fissure , manque de matière , inclusion de matière , etc...) pouvant affecter la bonne tenue des aiguilles combustibles irradiées dans les réacteurs à neutrons rapides.

Après avoir rappelé les types de défauts auxquels on s'intéresse et les procédures expérimentales utilisées , nous présenterons le principe de la détection automatique des événements puis la méthode permettant la qualification des défauts.

## 2 PHENOMENES PHYSIQUES RECHERCHES

Les gaines qui contiennent la matière fissile dans le coeur d'un réacteur surgénérateur sont soumises au cours du temps à de nombreuses sollicitations interdépendantes de type : neutronique , thermique (gradient de température dans l'épaisseur de la gaine et le long de l'aiguille) , mécanique (pression interne des gaz de fission , fluage et interaction des aiguilles) , corrosion externe (par le sodium , fluide caloporteur) , corrosion interne (par les produits de fission).

Ces sollicitations déclenchent divers phénomènes physico-chimiques qui se traduisent par des diminutions d'épaisseur de la gaine ou des fissurations ; parallèlement , les propriétés magnétiques des matériaux sont modifiées , ces

modifications sont la conséquence des transformations structurales des matériaux de gainage induites par les effets du flux neutronique ou de la température.

### 3 CONDITIONS DE MESURE ET ANALYSE DES SIGNAUX

Les gaines contrôlées sont en acier austénitique ; elles sont de dimensions variables suivant les réacteurs (diamètre extérieur de 6,55 mm et diamètre intérieur de 5,65 mm pour PHENIX) ; les mesures se font avec des bobines encerclantes sur le mode absolu (ce qui permet de visualiser la totalité des phénomènes ponctuels et monotones) tous les 0,8 mm le long de l'aiguille.

Les signaux sont numérisés sur 16 bits ; deux fréquences d'excitation sont utilisées : 10 KHz et 90 KHz , ce qui permet de mettre en évidence les divers types de défauts ; à ces fréquences la profondeur de pénétration reste largement suffisante (2 mm à 10 KHz et 1,4 mm à 90 KHz).

Par ailleurs , les gaines en acier austénitique possèdent après leur séjour en réacteur des défauts qualifiés de métallurgiques présentant un caractère ferromagnétique ; afin de minimiser ces défauts au profit des défauts à caractère volumique , des mesures en saturation magnétique sont effectuées permettant de ramener la perméabilité magnétique relative efficace à l'unité.

#### 3.1 Analyse des signaux en fonction de la fréquence

##### a/ A 10 KHz

Les variations d'impédance dues aux changements de perméabilité magnétique de l'aiguille sont bien mises en évidence , tandis que les variations dimensionnelles sont très mal perçues , au point qu'elles sont considérées comme négligeables.

A cette fréquence , seuls les effets magnétiques sont pris en compte ; en particulier c'est à cette fréquence que l'importance du magnétisme résiduel après saturation peut être apprécié.

##### b/ A 90 KHz

La sensibilité aux variations de perméabilité magnétiques est plus faible qu' à 10 KHz ; celles-ci sont cependant détectées avec une sensibilité non négligeable ; la sensibilité aux variations dimensionnelles devient bien meilleure sur toute l'épaisseur de la gaine bien qu'il ne soit pas possible de dissocier les défauts dimensionnels internes et externes de même nature .

C'est donc à cette fréquence que les diminutions d'épaisseur des gaines sont recherchées. Elles nécessitent l'analyse du signal obtenu après saturation magnétique et la prise en compte du magnétisme résiduel qu'il contient et qui a été préalablement décelé lors du contrôle à 10 KHz avec la saturation magnétique.

#### c/ Fréquence mixée

Cette technique permet d'éliminer certains artefacts indésirables et d'accentuer les signaux dus à des défauts recherchés.

Pour chaque gaine, nous disposons ainsi de 12 signaux, à savoir : mesure aux trois fréquences en mode non saturé ou saturé des deux composantes de l'impédance ; la figure 1 montre le type de signaux recueillis à 90 KHz en mode non saturé.

#### 4 DETECTION DES EVENEMENTS

La détection automatique des défauts suppose que l'on puisse détecter automatiquement les pics ou les creux semblables à ceux observés sur la figure 1 alors que le fond est variable et non prévisible.

Pour ce faire, nous avons mis en oeuvre un logiciel "BOULIMI" dont le principe dû à P. SIMARD est le suivant : si l'on fait rouler sur la courbe semblable donnée figure 1, considérée comme une ligne solide, un disque de rayon approprié, il se bloquera lorsqu'il "tombera" dans un creux. Si l'on peut repérer la position de blocage de ce disque on pourra ainsi détecter le creux. La détection d'un pic peut se faire dans les mêmes conditions en renversant la courbe.

La détection des creux ou pics suppose donc que l'on simule le roulement d'un disque sur le signal et que l'on détecte les positions de blocage ; il faut donc définir le rayon des disques et un critère de blocage.

La largeur des pics étant à priori inconnue, un seul disque de rayon fixé ne suffit pas, il faut "rouler" sur la courbe une série de disques de rayon croissant ( fig. 2 ).

La position des centres des disques se bloquant permet de déterminer la position du creux ; la position du disque de rayon maximum se bloquant permet de délimiter les bords du creux ; on peut ainsi déterminer sur chaque courbe la position précise des creux ou des pics, leur largeur, leur amplitude. Lorsque les courbes sont trop bruitées, un lissage du signal peut être nécessaire.

## 5 CLASSIFICATION AUTOMATIQUE DES DEFAUTS

### 5.1 Caractérisation d'un défaut

Chaque évènements détecté suivant les critères ci-dessus est caractérisé par un vecteur comportant :

- des caractères qualitatifs : numéro de la courbe exploré, caractère distinctif des creux et des pics
- des caractères quantitatifs (position de l'évènement , hauteur , largeur)

Puis les évènements communs aux composantes X et Y relatives à une même fréquence d'excitation sont classés en fonction de leur distance par rapport au bas de la colonne fissile.

Chaque évènement après classement est associé à l'évènement le plus proche (abscisses sur l'aiguille distante de moins de 8 mm) à condition qu'ils n'appartiennent pas à la même composante.

Si l'un de ces deux tests n'est pas réalisé , l'évènement seul est comptabilisé comme un défaut ; si ces deux tests sont remplis , les caractères relatifs aux deux évènements vont former le "vecteur qualitatif" du défaut.

Chaque défaut peut ainsi être caractérisé. .

### 5.2 Gestion d'une base de connaissances

Les défauts étant ainsi caractérisés , il est possible d'émettre alors un diagnostic à partir de valeurs tests sur ces caractères ; ces valeurs tests sont matérialisées sous forme de données dans un fichier base de connaissances.

Ces valeurs tests peuvent être modifiées de façon interactive ; par exemple , l'algorithme de décision relatif à la qualification de fissures est établi en fonction des tests suivants :

$$- \frac{\text{hauteur X-}}{\text{hauteur Y+}} > 1$$

et - abscisse fissures < abscisse milieu colonne fissile

$$\text{et - largeur X-} < 10 \text{ mm}$$

$$\text{et - largeur Y+} < 10 \text{ mm}$$

$$\text{et - } \frac{\text{hauteur X-}}{\text{largeur X-}} > 1$$

$$\text{et } - \frac{\text{hauteur } Y+}{\text{largeur } Y+} > 1$$

La sélection des différents défauts n'est pas limitative en ce qui concerne les facteurs de forme des événements (hauteur et largeur) ainsi que leur situation sur l'aiguille ; elle ne l'est pas non plus au regard des événements n'ayant pas de correspondance sur les deux voies X et Y.

Toutes les configurations d'événements associés ou isolés peuvent ainsi , à la demande , être catalogués ou non comme représentative de phénomènes physiques.

les modifications des règles de décision sont gérées par un outil indépendant , batisseur de règles qui figurera sur un fichier la base de connaissances ; l'intérêt de cette méthode réside dans la détection de phénomènes ou de caractéristiques nouveaux qui peuvent apparaître lors de l'examen d'aiguilles de matériaux ou de géométrie différents.

## 6 RESULTATS

Une cinquantaine d'aiguilles ont été expertisées par cette méthode ; les résultats obtenus sont en parfait accord avec ceux exprimés après expertise visuelle des spécialistes.

La figure 3 visualise les événements (pics et creux) détectés sur les courbes représentées figure 1.

La figure 4 représente une fiche globale d'expertise relative au contrôle par courants de Foucault d'une aiguille (12 courbes) ; les défauts détectés ainsi que leur localisation par rapport au bas de la colonne fissile sont spécifiés pour chaque mode de saturation magnétique et chaque type de fréquence.

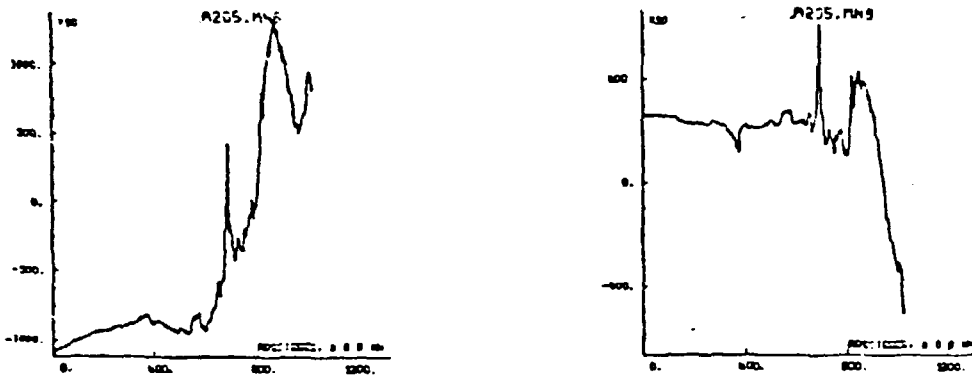


FIGURE 1

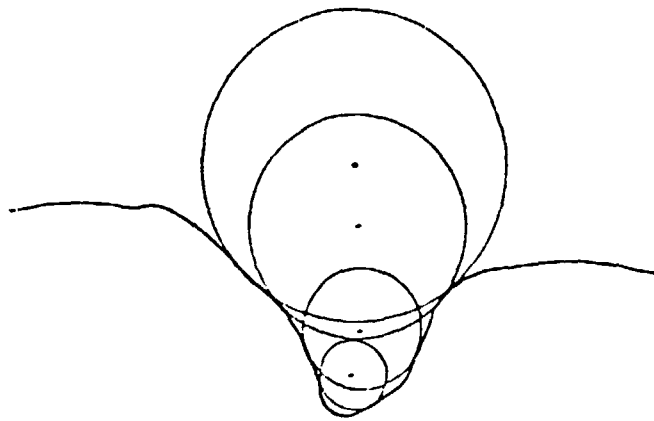


FIGURE 2

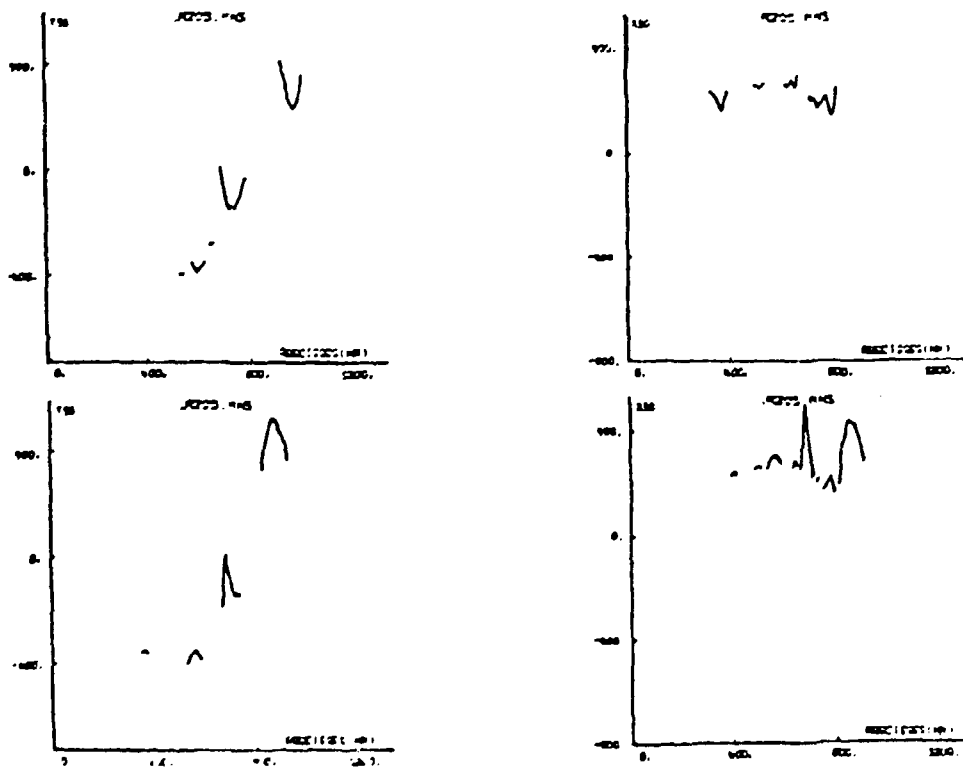


FIGURE 3

FIGURE 4

FICHE GLOBALE D'EXPERTISE  
=====

Assemblage Aiguille 205  
-----

Lissage sur 20 points , Normalisation , 256 points

DEFAUTS	Abscisses X 0.8 mm / bas colonne fissile					
	Mode non sature			Mode sature		
	Mixee	10 Khz	90 Khz	Mixee	10 Khz	90 Khz
Fissuration			371	371		371
Inclusion metallique	566	566	566			
R.O.G. (corrosion)				688		691
Inclusion metallique	686	687	686		690	697
Inclusion metallique	729	730	729			
Inclusion metallique		871				