

NONDESTRUCTIVE TESTING OF PWR TYPE FUEL RODS BY EDDY CURRENTS
AND METROLOGY IN THE OSIRIS REACTOR POOL

FAURE M. and MARCHAND L.
Services des Piles, CEA/CEN Saclay

7. International conference on non destructive testing
in nuclear industry
Grenoble (France) 29 Jan - 1 Feb 1985
CEA-CONF--7493

ABSTRACT The Saclay Reactor Department has developed a nondestructive test bench, now installed above Channel 1 of the Osiris reactor. As part of investigations into the dynamics of PWR fuel degradation, a number of fuel rods underwent metrological and eddy current inspection, after irradiation.

1 INTRODUCTION

Within the framework of a study of fuel rod behavior, conducted jointly by Electricité de France and Commissariat à l'Energie Atomique, the Saclay Reactor Department developed an investigative instrument featuring the following three components:

- . irradiation loop loadable and unloadable in the pool, designed to irradiate four fuel rods simultaneously,
- . underwater rod loading/unloading bench,
- . nondestructive test bench, designed for visual inspection of rod appearance, diametral metrology, and clad integrity inspection.

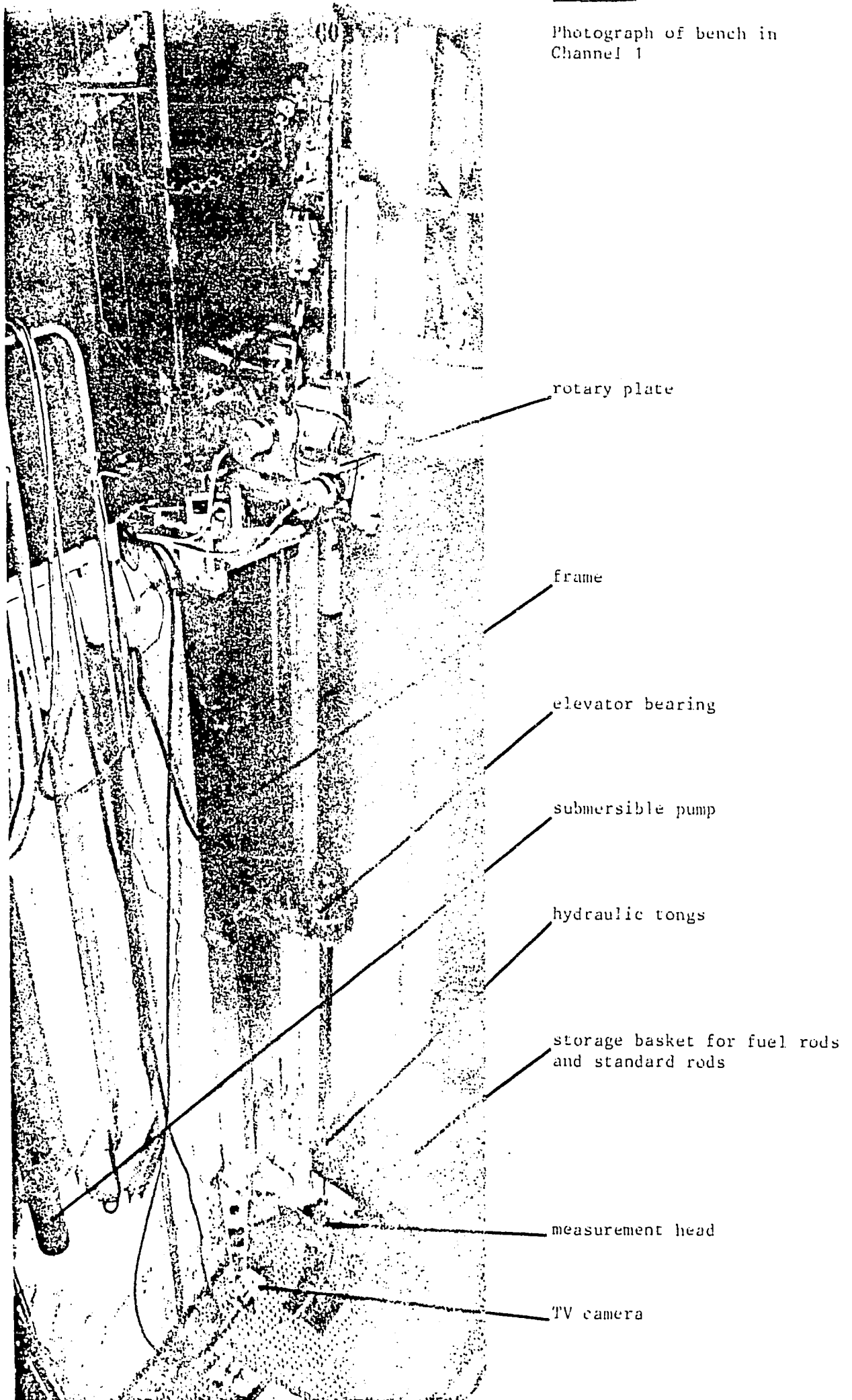
2 PRESENTATION OF THE SYSTEM

The test bench having already been presented (Sixth Int.Conf.on NDE in the Nuclear Industry, Zurich, 28 Nov/2 Dec 1983), we shall only briefly recall its architecture and operating principle, referring to Figure 1, which shows the bench in the Osiris reactor pool.

The rigid, easily dismantled frame, located at the edge of Channel 1, guarantees a minimum safe height of 3 m of water above the fuel rod, which undergoes translation and rotation movements in front of the measurement head. The rod is held by a tongs, itself fixed to the lower part of a hydraulic guide elevator, which controls the vertical rod movements. A rotary plate rotates and positions the rod for the scanning of its generating lines. The measurement head is fitted at the base with an eddy current probe as well as distance transducers for metrology. It also guides the rod. Since this head is modular, it suffices to replace the central part to inspect a rod of a given diameter. Other transducers can also be mounted for other purposes, such as ultrasonic inspection, thickness measurements of oxide layers etc. The fluid bearings and tongs are fed with pressurized water taken from the channel, near the test bench. This hydraulic design of the guide systems helps to cut the background noise picked up by the transducers considerably, and guarantees effective cooling of the fuel rod.

Figure 1

Photograph of bench in
Channel 1



A programmable monitoring/control system is installed near the frame for:

- . safety element management: electrical and hydraulic power supplies, movements, forces, data acquisition,
- . rod scanning: manual or automatic, scanning frame, movement speeds etc.

An acquisition system serves to digitize and store various data on high-capacity magnetic tapes: data defining the position of the point inspected, in cylindrical coordinates, such as those from the load and movement transducers, and the eddy current probe. The recorded data can also be read and displayed during inspection, or even later. An interface has also been developed for processing on a Mitra 15 computer. Hence the data can be transcribed on digital tapes, which can be processed subsequently by another computer.

3 SOME CHARACTERISTICS OF THE TEST BENCH

Maximum rod length 2 meters.

Vertical movement:

- . travel 0 to 2000 mm, resolution 0.1 mm
- . direction up and down
- . speed adjustable from 0 to 40 mm/s

Rotation movement:

- . position 0 to 359.5 degrees in increments of 0.5 degree
- . angular position adjustable from 1 to 30 degrees in increments of 0.5 degree
- . speed adjustable from 1 to 12 degrees/s
- . direction clockwise and counterclockwise

Signal acquisition:

- . sampling frequency 400 Hz maximum
- . digitization with resolution of 12 bits

Eddy currents:

- . sine wave single-frequency generator, frequency variable from 1 to 999 kHz
- . matched pair of differentially-wound sensing coils, mounted in opposition.

Without data processing, the smallest test defect detected is internal and has the characteristic dimensions of about 1 mm in the clad axis and 0.075 mm in the clad thickness direction.

Metrology: two line voltage displacement transducers, allowing measurements to the nearest 5 μm .

4 INSPECTION OF IRRADIATED FUEL RODS

4.1 Rod characteristics

Six rods about 60 cm long (corresponding approximately to the height of the reactor core) and about 9.5 mm in diameter were examined. Before irradiation in the Osiris reactor, these rods were received as-fabricated, fitted with a pre-irradiated (hence embrittled) clad, or had been refabricated at the Saclay Irradiated Fuel Research Laboratory, according to the Fabrice process, from rods received from the nuclear power stations Bugey (France) and BR3 (Belgium). On its top plug, each rod has a system for identification, locating and angular matching.

4.2 Irradiation parameters

The Isabelle 4 irradiation loop is located at the reactor periphery and a preliminary, so-called conditioning irradiation phase was carried out, equivalent to two Osiris operating cycles. In the subsequent irradiation phases, programmed from October 1984, the rods will be subjected to power ramps, which should serve to pinpoint the operating limits of these fuels.

4.3 Tests conducted

A preliminary step served to test the behavior of the bench in the presence of irradiated rods. Considerable wear of the metrology sensors was observed. The use of another material combined with a new geometry helped to reduce this wear partly.

An examination performed after the conditioning phase helped to detect external defects which, after visual inspection, turned out to be scratches resulting from handling rather than due to irradiation. No internal defect was detected, and this was confirmed by the gamma scans and neutron radiographies performed. This is not surprising given the irradiation history. On the other hand, both by the eddy current method and by metrology (Figure 2), the formation of folds was observed at the interpellet spaces, less than 0.01 mm in height for new rods, and about 0.02 to 0.03 mm for pre-irradiated rods. Also noteworthy is the good positioning agreement of the interpellet spaces.

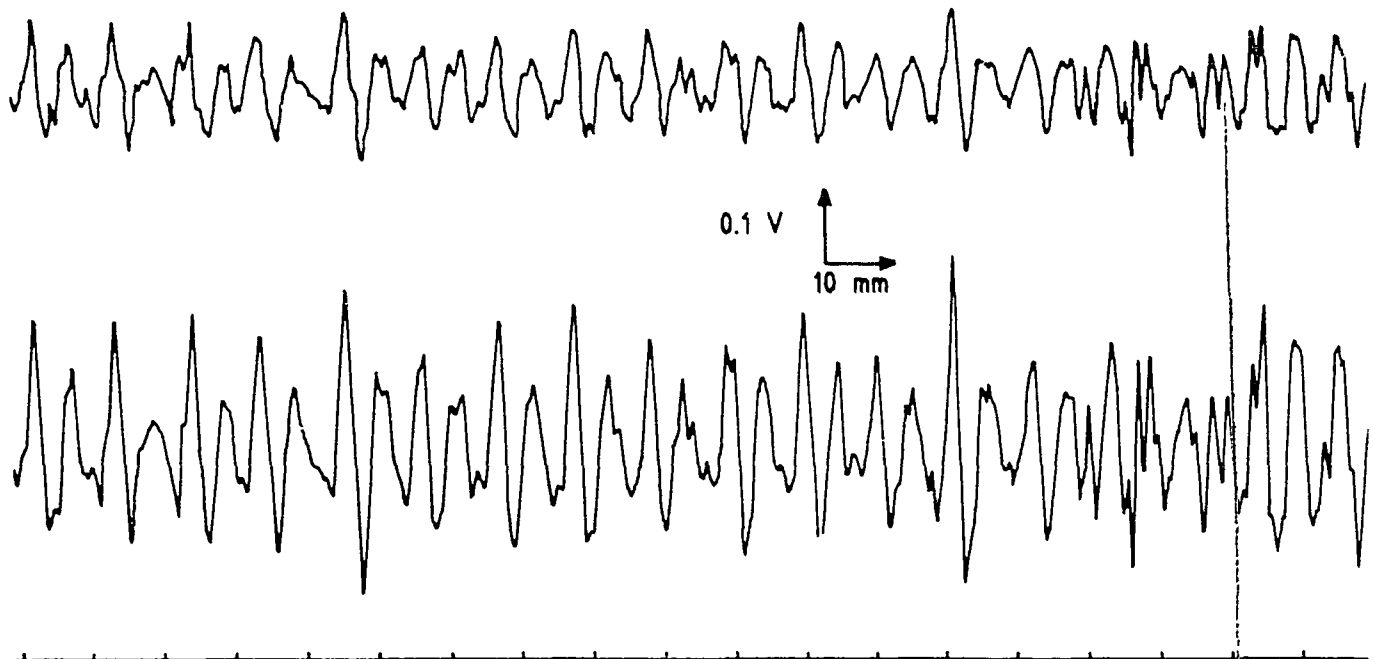


Figure 2a Eddy current recording on a portion of generating line of an initially new rod

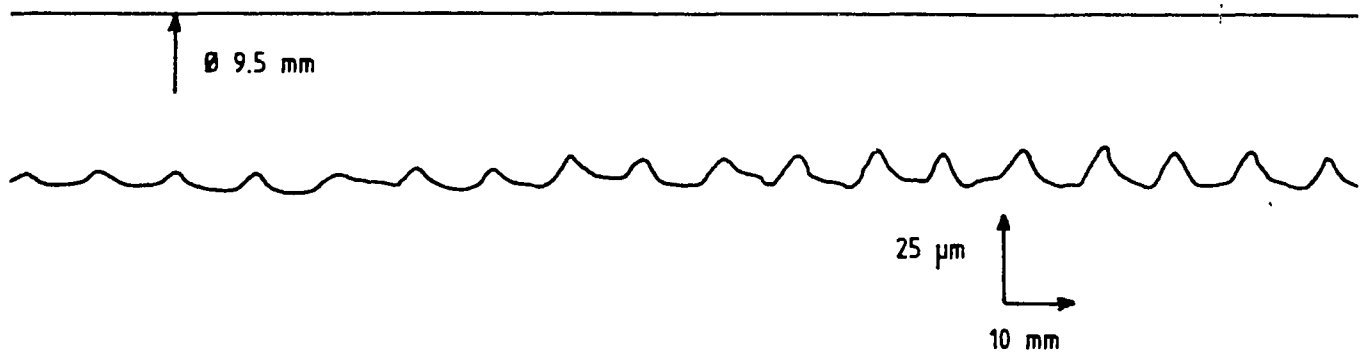


Figure 2b Metrological recording of the same portion of generating line

CONTROLES NON DESTRUCTIFS DE CRAYONS COMBUSTIBLES DE TYPE REACTEURS
A EAU SOUS PRESSION, PAR COURANTS DE FOUCAULT ET METROLOGIE DANS LA
PISCINE DU REACTEUR OSIRIS

FAURE M. - MARCHAND L. (CEA-CEN/SACLAY - SERVICES DES PILES)

(Communication présentée à la 7^{ème} conférence internationale sur les essais
non destructifs dans l'industrie nucléaire - GRENoble - 29 janvier -
1er février 1985)

RESUME : Les Services des Piles de Saclay ont développé un banc de contrôles non destructifs, qui est maintenant installé à l'aplomb du canal 1 du réacteur OSIRIS. Dans le cadre des études relatives à la dynamique de dégradation du combustible des réacteurs à eau sous pression, divers crayons combustibles ont subi des examens métrologiques et par courants de Foucault, après irradiation.

1 - **INTRODUCTION :** Dans le cadre d'une étude du comportement des crayons combustibles, menée conjointement par Electricité de France et le Commissariat à l'Energie Atomique, les Services des Piles de Saclay ont développé un instrument d'investigation dont les trois composantes sont :

- une boucle d'irradiation, chargeable et déchargeable en piscine, destinée à irradier simultanément quatre crayons combustibles,
- un banc de chargement-déchargement des crayons, opérant sous eau,
- un banc de contrôle non destructif, destiné notamment aux examens visuels de l'aspect des crayons, aux métrologies diamétrales et aux contrôles d'intégrité des gaines.

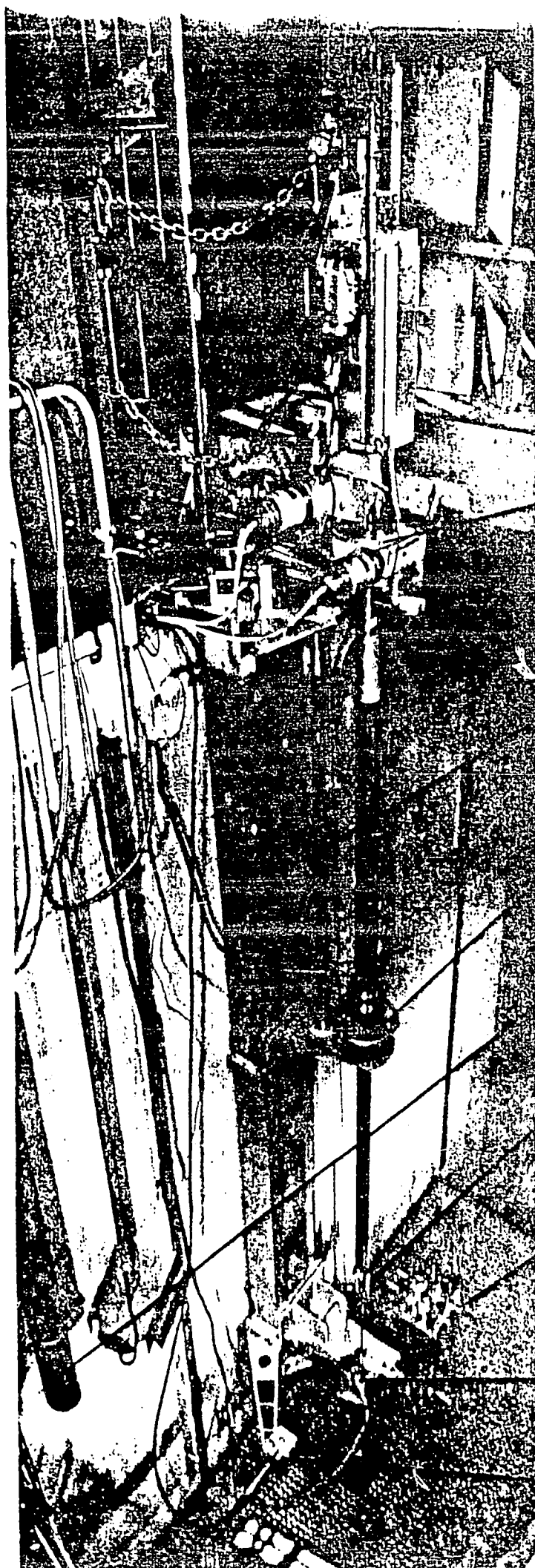
2 - **PRESENTATION DU SYSTEME :** Le banc ayant déjà été présenté (Sixth Int. Conf. on NDE in the Nuclear Industry - ZURICH - 28 Nov - 2 Dec 1983) nous ne rappellerons que succinctement son architecture et son principe de fonctionnement, en se référant à la figure 1, qui situe le banc dans la piscine du réacteur OSIRIS.

Ainsi le châssis, rigide et démontable, implanté en bordure du canal 1, assure une hauteur minimale de protection de 3 mètres d'eau, au-dessus du crayon combustible qui se déplace, en translation et en rotation devant le palier porte-capturs. Le crayon combustible est tenu dans une pince qui est elle-même fixée à la partie inférieure d'un ascenseur à guidage hydraulique. Cet ascenseur assure les mouvements verticaux du crayon. La rotation et le positionnement du crayon pour le balayage de ses génératrices sont assurés par un plateau tournant. Le palier fluide porte-capturs reçoit à sa partie inférieure la sonde à courants de Foucault ainsi que les capturs d'écart pour la métrologie. Il assure en outre le guidage du crayon. Ce palier étant modulaire, il suffit d'en changer la partie centrale pour examiner un crayon de diamètre donné. De plus, d'autres capturs peuvent être montés afin d'effectuer, par exemple, des contrôles ultrasonores, des mesures d'épaisseur de couches oxydées, ... Les paliers fluides ainsi que la pince sont alimentés en eau sous pression, prélevée dans le canal, à proximité du banc. Cette conception hydraulique des guidages permet de diminuer considérablement le niveau de bruit de fond perçu par les capturs, tout en assurant un refroidissement efficace du crayon combustible.

Figure 1

2.-

Photography of the bench
in the channel n°1
Photographie du banc
dans le canal n°1



Rotary plate
Plateau tournant

Frame
Châssis

Elevator bearing
Palier ascenseur

Immersed pump
Pompe immergée

Hydraulic tong
Pince hydraulique

Storage basket for fuel rods
and standard rods
Panier de stockage des crayons
combustibles et des crayons étalons

Measurement head
Palier porte capteurs

TV camera
Caméra TV

Un système de contrôle-commande programmable, installé à proximité du châssis, permet :

- la gestion des sécurités : alimentations électriques et hydrauliques, déplacements, efforts, acquisition des données, ...
- l'exploration du crayon : manuelle ou automatique, cadre d'exploration, vitesses de déplacement, ...

Un système d'acquisition permet de numériser et d'archiver sur des bandes magnétiques à grande capacité les diverses informations : celles définissant la position du point examiné, en coordonnées cylindriques, comme celles provenant des capteurs d'effort, de déplacement et de la sonde à courants de Foucault. Les données enregistrées peuvent également être relues et visualisées lors de l'examen, ou bien postérieurement à celui-ci. D'autre part, un interface a été développé pour permettre une exploitation sur ordinateur du type MITRA 15. On peut ainsi assurer la transcription des données sur des bandes digitales, lesquelles pourront être traitées ultérieurement par un autre ordinateur.

3 - QUELQUES CARACTERISTIQUES DU BANC :

Longueur maximale admissible des crayons : 2 mètres

Mouvement vertical :

Déplacement	: 0 à 2000 mm avec une résolution de 0,1 mm
Sens	: montée ou descente
Vitesse	: réglable de 0 à 40 mm/s

Mouvement de rotation :

Position	: 0 à 359,5° par pas de 0,5°
Pas angulaire	: réglable de 1° à 30° par pas de 0,5°
Vitesse	: réglable de 1°/s à 12°/s
Sens	: trigonométrique ou inverse

Acquisition des signaux :

Fréquence d'échantillonnage	: 400 Hz maximum
Numérisation avec une résolution	: de 12 bits

Courants de Foucault :

Générateur monofréquence sinusoïdal	: de 1 kHz à 999 kHz
Sondes ponctuelles à double ferrite	: montées en opposition

Le plus petit défaut test détecté, sans traitement des informations, est interne et a pour dimensions caractéristiques 1 mm environ selon l'axe de la gaine et 0,075 mm selon l'épaisseur de la gaine.

Métrologie :

Capteurs à transformateur différentiel, autorisant une mesure à 5 µm près.

4 - EXAMENS DE CRAYONS COMBUSTIBLES IRRADIES

4,1 - Caractéristiques des crayons :

Six crayons d'une longueur de 60 cm environ (ce qui correspond sensiblement à la hauteur du coeur du réacteur) et de diamètre voisin de 9,5mm ont été examinés. Avant irradiation dans le réacteur OSIRIS, ces crayons étaient soit bruts de fabrication, soit possédaient une gaine préirradiée. (donc fragilisée), soit encore avaient été refabriqués au Laboratoire d'Etude des Combustibles Irradiés de Saclay, suivant le procédé FABRICE, à partir de crayons provenant de centrales électronucléaires : BUGEY (France) et BR3 (Belgique). Chaque crayon comporte sur son bouchon supérieur un système d'identification, de détrompage et de repérage angulaire.

4,2 - Paramètres d'irradiation :

La boucle d'irradiation ISABELLE 4 est située en périphérie du réacteur et une première phase d'irradiation, dite de conditionnement et équivalant à deux cycles de fonctionnement d'OSIRIS, a été réalisée. Au cours des phases d'irradiation suivantes, programmées à partir du mois d'Octobre 1984, les crayons seront soumis à des rampes de puissance qui devraient permettre de mieux cerner les limites de fonctionnement de ces combustibles.

4,3 - Contrôles effectués :

Une étape préliminaire a permis de tester le comportement du banc en présence de crayons irradiés. On a ainsi constaté un fort taux d'usure des palpeurs de métrologie. L'utilisation d'un autre matériau associé à une nouvelle géométrie a permis de réduire partiellement cette usure.

Un examen effectué après la phase de conditionnement a permis de mettre en évidence des défauts externes, qui, d'après l'examen visuel, s'apparentent plus à des rayures résultant d'une manutention qu'à un effet de l'irradiation. Aucun défaut interne n'a été détecté, ce qui est confirmé par les gammamétries et neutronographies réalisées, et qui ne saurait surprendre étant donné l'historique de l'irradiation. En revanche, on a pu noter, tant par la méthode des courants de Foucault qu'en métrologie (figure 2), la formation de plis aux interpastilles, d'une hauteur inférieure à 0,01 mm pour des crayons neufs et de l'ordre de 0,02 à 0,03 mm pour des crayons préirradiés. On peut également remarquer la bonne concordance de positionnement des espaces interpastilles.

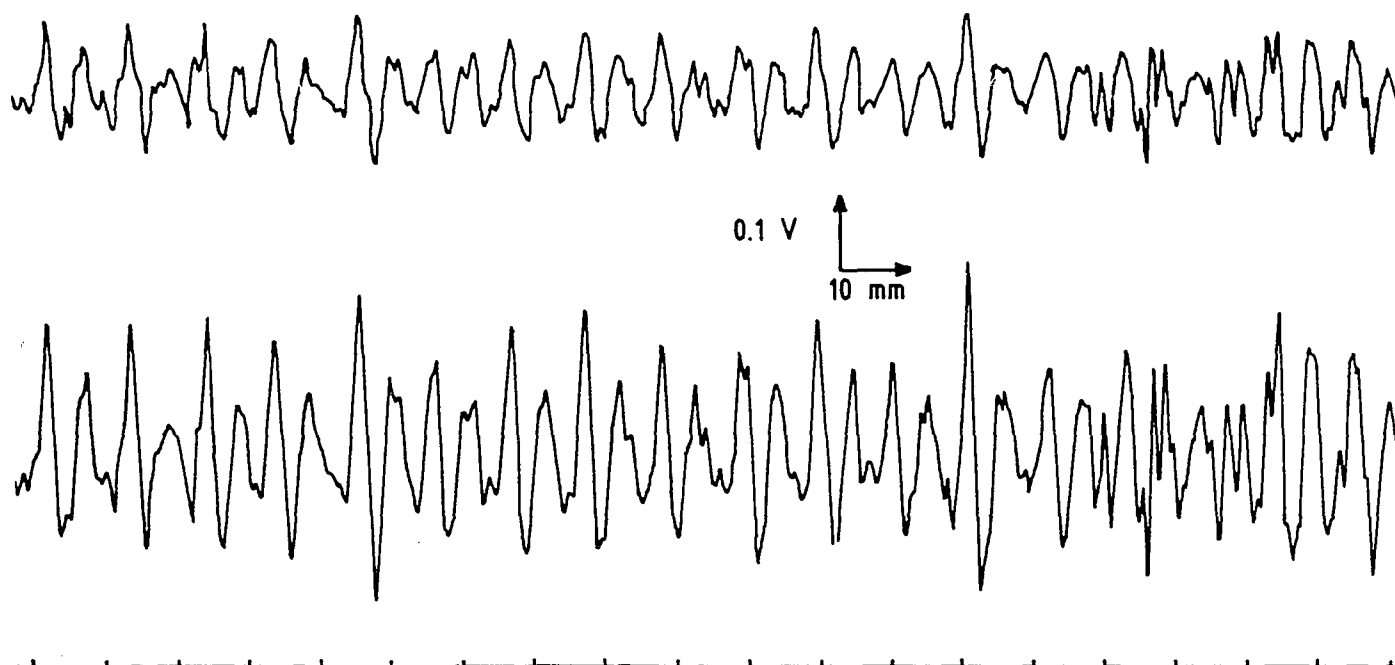


Figure 2a : Enregistrement courants de Foucault sur une portion de génératrice d'un crayon initialement neuf



Figure 2b : Enregistrement métrologique de la même portion de génératrice