



8. Conférence mondiale sur les essais non destructifs. Cannes, France, 6-11 septembre 1976

CEA-CONF--3647

PK 7700083

Titre  
Type  
ULTRASONIC INSPECTION FOR TESTING OF THE PWR FUEL ROD ENOPLUG WELDS  
CONTROLE PAR ULTRASONS DE LA SOUDURE DES BOUCHONS DES CRAYONS COMBUSTIBLES DES REACTEURS PWR

Auteurs  
Auteurs  
PILLET G. - DESTRIEATS M-T. - PAPEZYK F.  
Lieu  
GIF SUR YVETTE

Centre  
C.E.A. - CEN/SACLAY  
Pays  
FRANCE

**SUMMARY:** A method of ultrasonic control had been elaborated with local immersion and transversal waves. With that method it is possible to detect defects as the lacks of fusion and penetration and porosity situated in the PWR fuel rod endplug welds.

**RESUME :** Il a été développée une méthode de contrôle U.S. en immersion locale et ondes transversales qui permet de détecter les défauts tels que le manque de fusion ou de pénétration, et soufflure dans les soudures des bouchons des éléments combustibles des réacteurs PWR.

**INTRODUCTION**

Les coeurs des réacteurs nucléaires actuellement construits comprennent plusieurs dizaines de milliers de crayons combustibles. Dans chaque crayon combustible l'oxyde d'uranium est contenu dans un tube de gaine et deux bouchons soudés en extrémité assurent l'étanchéité de l'ensemble vis-à-vis du milieu extérieur. Ces soudures doivent être contrôlées avec soin pour garantir l'étanchéité du gainage et éviter le transport des produits de fission dans le circuit de refroidissement. Le contrôle est couramment réalisé par la méthode radiographique qui demeure bien souvent délicate de mise en oeuvre. Afin d'atteindre un degré de fiabilité supérieur, une méthode ultrasonore a été développée.

**I. NATURE ET FORME DES PIECES A CONTROLER**

Le tube et les bouchons d'un élément combustible sont en zircaloy 4. La soudure est réalisée par argon-arc. La figure 1 donne la constitution de la partie terminale des extrémités du crayon standard.

- Le contrôle vise à détecter les 3 types de défauts suivants :
- . le manque de pénétration,
  - . le joint échappé,
  - . les porosités supérieures ou égales à 0,2 mm.

Les crayons présentant ces types de défauts sont actuellement rebutés.

Le contrôle peut s'effectuer par radiographie ou par ultrasons. La méthode radiographique est couramment employée et nous nous bornerons à en rappeler brièvement la mise en oeuvre, les avantages et les inconvénients, avant de développer la méthode ultrasonore.

**II. CONTROLE PAR RAYONS X**

**II.1. Principe**

L'opération consiste à radiographier la soudure par un faisceau de rayons X

10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1  
0

perpendiculaire à celle-ci. L'extrémité des crayons est enfilée dans un compensateur d'épaisseur, en duraloy, et les clichés sont pris dans trois positions de la soudure à 120 °C.

### II.2. Avantages et inconvénients de la méthode radiographique

Le contrôle par radiographie se heurte à certaines difficultés de mise en oeuvre :

- les clichés ne sont exploitables que par un personnel entraîné,
- l'observation engendre une fatigue visuelle,
- les défauts de film ou de développement peuvent conduire au rebut de crayons bons,
- les risques d'erreurs au niveau des prises de vues et du marquage des clichés ne sont pas négligeables.

Au niveau de la détection et de l'interprétation des anomalies, il faut noter que les cratères de brûlage situés en avant de la soudure, ainsi que les soufflures d'une certaine dimension, sont vus très facilement.

Par contre, un joint échappé peut ne pas être détecté tandis que de très légers décollements de gaine, absolument inoffensifs situés juste avant la zone soudée seront rebutés. Ces décollements projettent en effet sur les clichés des taches importantes.

Pour pallier certains de ces inconvénients, il est possible d'utiliser la méthode du double film. Cependant dans le cas où le contrôle porte sur de grandes séries cette méthode semble difficilement applicable.

## III. CONTROLE PAR ULTRASONS

### III.1. Principe

Nous avons adopté la même technique de contrôle que celle utilisée pour le contrôle de santé des gaines, à savoir par écho en ondes transversales.

Le faisceau d'ultrasons focalisé est dirigé sur la gaine avec une incidence constante (fig.2). La zone explorée est ainsi connue avec précision.

Il est important de bien se représenter en dimension la zone de travail qui porte sur une épaisseur de 0,6 mm et une longueur de soudure de 2 à 3 mm.

La technique par rebond sur la face interne de la gaine présente l'avantage d'explorer une grande partie de la soudure sans avoir à pénétrer au niveau du cordon dont la face externe présente un aspect plus ou moins irrégulier.

Ce procédé ne permet pas d'explorer la totalité de la soudure, en effet, une faible partie côté bouchon n'est pas contrôlée. Ceci ne nuit pas à la qualité du contrôle car la probabilité d'apparition de défauts dans cette zone est pratiquement nulle.

Une exploration hélicoïdale de la soudure est facilement obtenue en faisant tourner le crayon et en déplaçant le transducteur longitudinalement.

### III.2. Appareillage

Le contrôle est réalisé avec un transducteur focalisé excité à 10 MHz.

Le dispositif de contrôle est du type semi automatique. Le palpeur est monté solidaire d'une cuve à circulation d'eau qui permet une immersion locale de l'extrémité du crayon. Ce dernier, serré dans un mandrin, est entraîné en rotation tandis que la cuve se déplace longitudinalement assurant ainsi une exploration hélicoïdale de la zone soudée. Le banc actuel a été réalisé à partir d'un tour classique de petite dimension.

La vitesse de rotation est réglable et l'avance est de 0,2 mm/tour. Avec cet appareillage qui n'a pas été optimisé pour obtenir une forte cadence de contrôle il est possible de tester facilement 20 soudures à l'heure. Mais un aménagement du poste de contrôle permettrait facilement de tripler ce chiffre.

Les échos sont enregistrés sur une bande dont le défilement est synchronisé avec la rotation du crayon. Des tops sont inscrits, correspondant à des rotations angulaires de 120 °C, ils permettent à partir d'un repère sur le crayon de déterminer la position des anomalies détectées. Ces dernières ont ainsi pu être corrélées facilement avec les radiographies et analysées par micrographies.

### III.3. Résultats

Le contrôle par ultrasons est sensible à un grand nombre de paramètres et délivre de ce fait un nombre important d'informations. Certaines sont relatives à des défauts réducteurs, d'autres simplement à des variations géométriques telles que l'évolution de la largeur de la soudure ou les déformations dues à l'emmanchement. Ces anomalies qui pour certaines ne doivent pas conduire au rebut caractérisent cependant la fabrication et elles doivent être correctement interprétées.

Nous avons groupé ces anomalies par famille en tenant compte de l'amplitude des échos, de leur position et du temps pendant lequel ils sont vus.

Les figures 3, 4, 5 et 6 en donnent quelques exemples caractéristiques.

Pour caractériser chaque famille nous avons analysé par micrographie un certain nombre de soudures. Les résultats obtenus ont clairement fait apparaître le même type de défaut. De plus, nous avons constaté que les 3 défauts réducteurs :

- joint échappé,
- manque de pénétration,
- soufflure supérieure ou égale à 0,2 mm,

étaient détectés sans aucune ambiguïté.

Les critères de rebut ont été définis à partir de cette corrélation entre les micrographies et les enregistrements ultrasons. Ils tiennent compte des 3 paramètres considérés pour la constitution des familles d'anomalies.

La mise en oeuvre du contrôle nécessite un personnel qualifié au niveau du réglage et de l'étalonnage de l'appareillage. Le passage systématique de soudures étalons met ensuite à l'abri de dérives inopinées. L'interprétation des enregistrements est très simple et très rapide.

## IV. COMPARAISON DES RESULTATS DES METHODES RADIOGRAPHIQUES ET ULTRASONORES

Nous avons contrôlé conjointement par ultrasons et par radiographie la totalité des crayons combustibles de la Chaudière Avancée Prototype représentant 6 000 soudures. Nous avons pu ainsi apprécier très exactement les avantages et les inconvénients de chacun des deux procédés.

Les défauts réducteurs sont vus par les deux méthodes bien qu'il soit possible au contrôle radiographique de laisser passer un joint échappé ou un manque de pénétration. Les ultrasons par contre répondent avec une grande sensibilité à ces défauts. Ils sont toutefois légèrement moins sensibles pour la détection des petites bulles dont le diamètre est inférieur à 0,2 mm.

La mise en oeuvre du contrôle par ultrasons est simple et chaque soudure est caractérisée par un enregistrement unique. La radiographie nécessite 3 vues dont il est souvent difficile d'opérer la synthèse.

L'observation des clichés est très éprouvante pour la vue et exige une attention très soutenue. La bonne qualité de l'exécution du contrôle dépend beaucoup des opérateurs qui doivent être capables d'interpréter correctement en dimension et en

Double copie: In-Process paragraph - double copie entre deux par 1/2 page  
 Informations: copy sample  
 Single copies between lines

10  
 9  
 8  
 7  
 6  
 5  
 4  
 3  
 2  
 1

Short title  
Titre court

CONTROLE PAR ULTRASONS DE LA SOUDURE DES CRAYONS COMBUSTIBLES

opacité les anomalies détectées. Par contre l'interprétation des enregistrements du contrôle ultrasonore est simple et rapide. Elle se fait à partir de critères clairement définis.

En définitive le contrôle ultrasons est plus fiable que le contrôle radiographique.

**CONCLUSION**

Environ 6 000 soudures ont été contrôlées conjointement par radiographie et par ultrasons. Les résultats obtenus nous amènent à tirer les conclusions suivantes :

- le contrôle par ultrasons est assez sophistiqué et relativement sensible. Ainsi toute modification dimensionnelle sera détectée. Une bonne coopération entre fabricant et contrôleur est donc nécessaire.
- la méthode a été testée et améliorée sur une série importante. Elle est parfaitement opérationnelle. La mise en oeuvre est simple et l'interprétation des résultats est rapide pour une sensibilité de détection tout à fait satisfaisante.
- pratiquement, l'application du contrôle ultrasons conduit à une fiabilité meilleure.

Simple space between lines - Interlines espace simple / Double space between paragraphs - double space entre paragraphes

10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1  
0

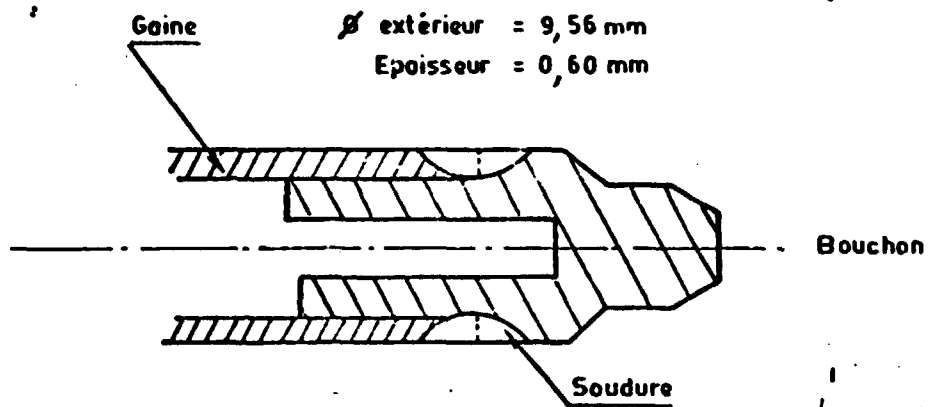


FIG:1. EXTRÉMITÉ DU CRAYON COMBUSTIBLE

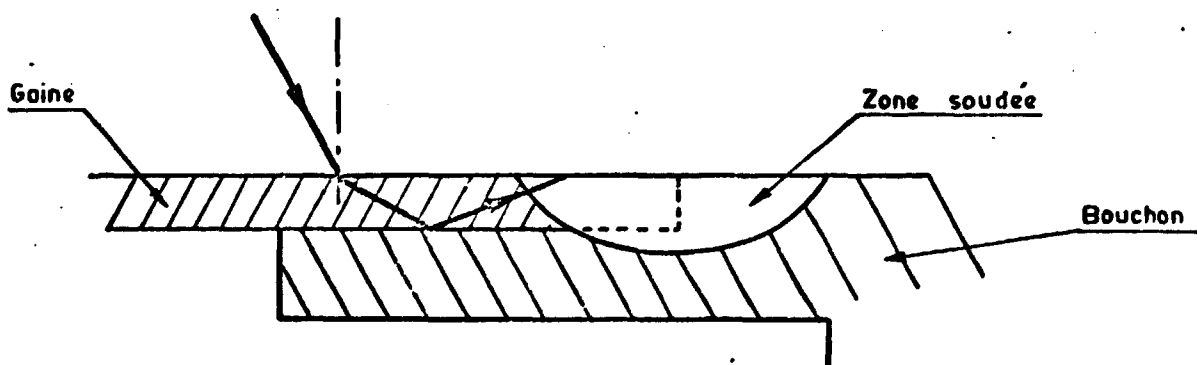
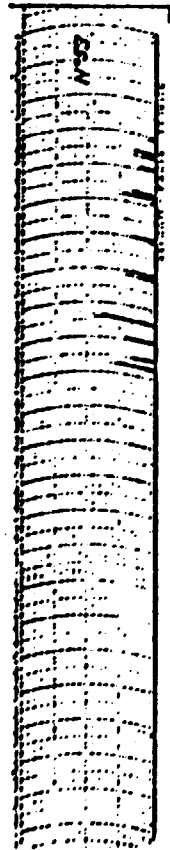


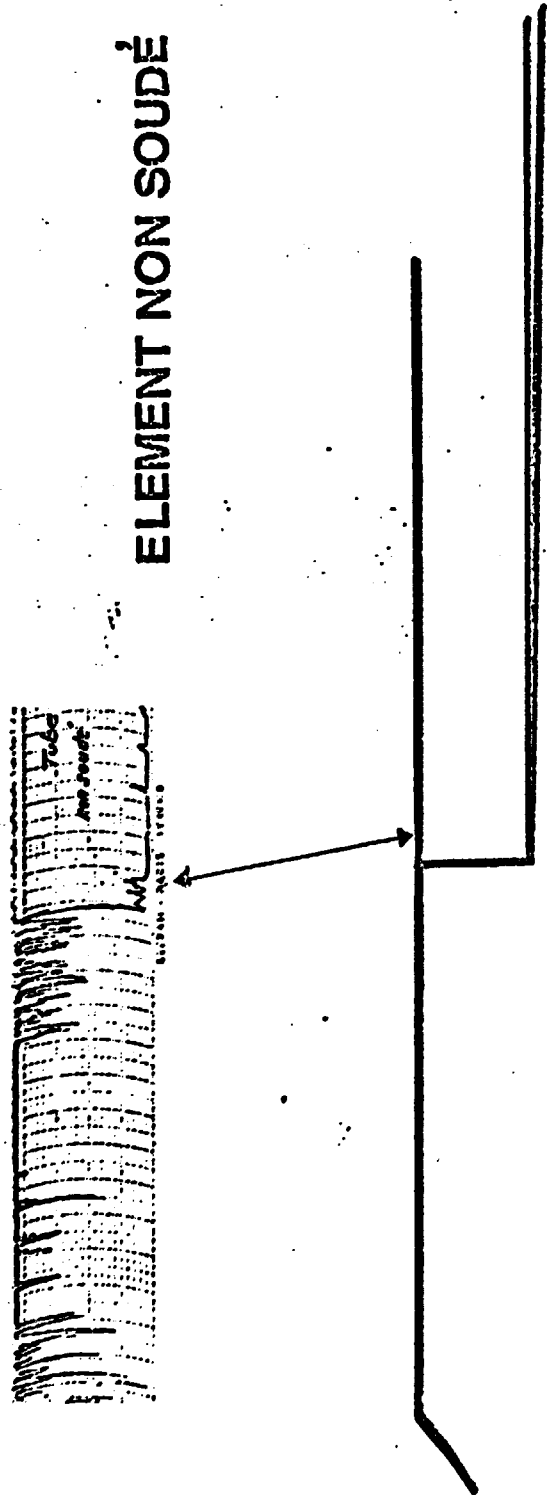
FIG:2. TRAJET THÉORIQUE DES ULTRASONS

EDB : 42014 - 6 - 02

**SOUDURE SAINNE**

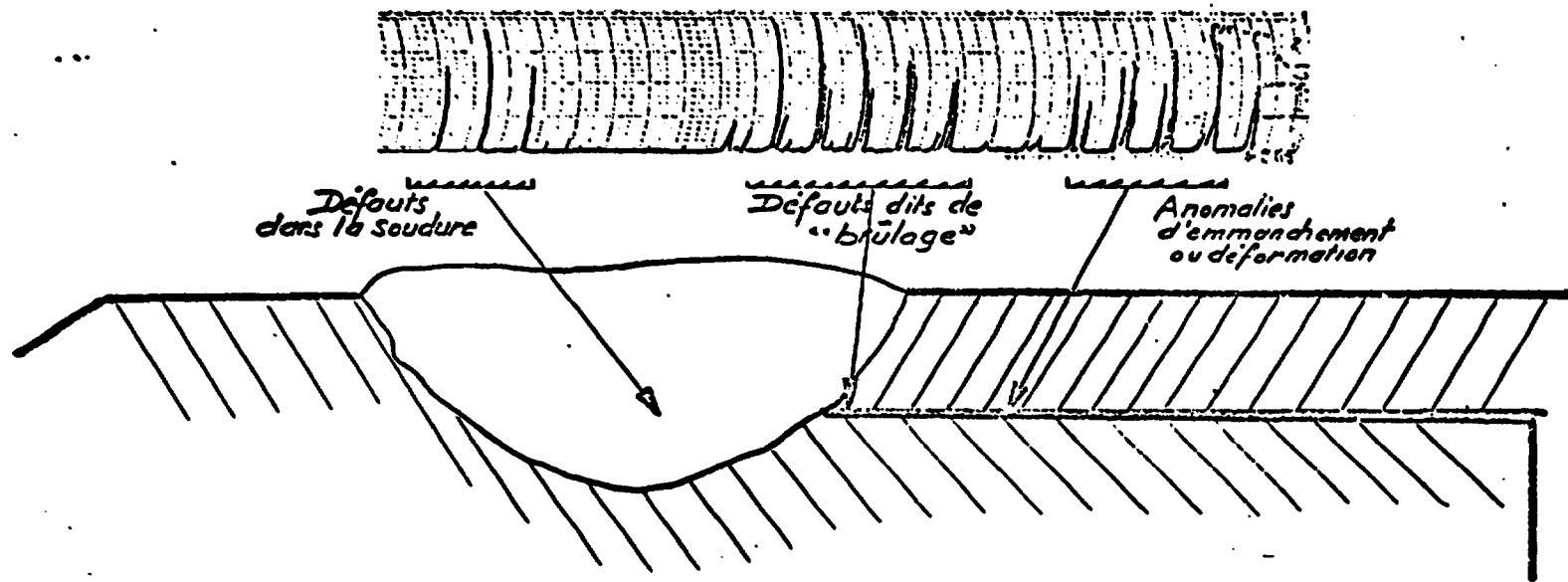


**FIG. 3**



**FIG.4**

*Enregistrement synchrone avec l'exploration de la soudure*



**FIG. 5 Enregistrement de défaut type Argon-Arc**



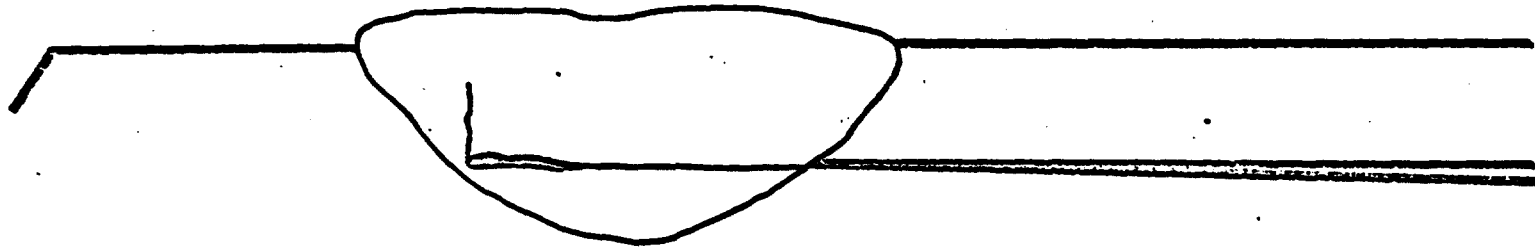


FIG.6 Joint non soudé