



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

CEA-CONF--3792

FR7700953

C13

INIS  
CEA

RADIOMETRIC CONTROL OF THE POSITION OF BLIND HOLES AXES IN GRAPHITE BLOCKS OF HIGH TEMPERATURE REACTORS

CONTROLE RADIOMETRIQUE DE POSITIONS D'AXES ET DE FONDS DE TROUS BORGES DANS DES BLOCS DE GRAPHITE DE REACTEURS A HAUTE TEMPERATURE

BOUTAINE J.L. - BUJAS R. -  
LEMONNIER A. - TORTEL J.

SACLAY

COMMISSARAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

FRANCE

**SUMMARY:** Principle of a method of control of the positions of blind holes axes comparison between radiometry and radiography. Performances which can be obtained. Speed of control. Automation capabilities.

**RESUME :** Principe d'une méthode de contrôle de positions d'axes de trous borgnes. Comparaison radiométrie-radiographie. Performances pouvant être obtenues. Cadence de contrôle. Possibilité d'automatisation.

### I.- BUT DU CONTROLE - TOLERANCE ADMISSIBLE

Le problème posé consiste à mesurer avec précision la position réelle de l'axe, au fond d'un trou borgne, dans un bloc usiné.

Dans le cas concret que nous avons eu à résoudre, (élément en graphite d'un coeur de réacteur à haute température) les trous, au nombre de 132 sur chaque bloc à contrôler ont une profondeur d'environ 800mm, un diamètre d'environ 16mm et l'épaisseur de matériau entre fond de trous et face inférieure du bloc est de l'ordre de 10mm. Les méthodes classiques de métrologie sont ou inefficaces, ou beaucoup trop longues à mettre en oeuvre pour un contrôle de fabrication.

La figure 1 schématise le problème posé.

Dans le cas qui nous intéresse, pour des raisons de contraintes thermiques asymétriques et de déformations wigner différentielles, il faut s'assurer que pour chaque trou, l'écart entre axe réel et axe théorique reste très faible.

### II.- PRINCIPE DU PROCEDE DE CONTROLE RETENU -CHOIX DE LA SOURCE

Une source de photons X ou  $\gamma$  de très petites dimensions (par exemple 1 x 1mm pour la pastille active) est chargée dans un collimateur porte-source en matériau dense (alliage de tungstène) qui définit un pinceau finement collimaté de photons X ou  $\gamma$  (dimensions du collimateur : de l'ordre de 0,2 x 0,2mm sur 10 à 20mm de haut).

Cet ensemble est introduit dans le trou à contrôler, le bloc étant fixé pendant cette opération sur une platine usinée avec précision et permettant de positionner soigneusement un détecteur (qui peut être radiographique ou radiométrique).

Ce détecteur va enregistrer, soit topographiquement, soit numériquement l'intensité du pinceau de photons. L'information recueillie permettra à l'opérateur de déterminer la position de l'axe réel du trou

## CONTROLE RADIOMETRIQUE D'AXES

contrôlé, de la comparer à la position théorique et ainsi d'accepter ou de rebouter le bloc usiné.

Cinq radioéléments sont a priori utilisables : américium 241, iridium 192, prométhéum 147, thulium 170 et ytterbium 169. Les définitions obtenues à l'aide de l'américium 241 et du prométhéum 147 sont excellentes, mais les émissions photoniques sont trop faibles pour pouvoir envisager des cadences de contrôle industrielles (1 contrôle toutes les 4 minutes).

Pour l'iridium 192, les motifs sont inverses: les temps de contrôle seraient acceptables mais l'énergie moyenne des photons émis entraîne une définition médiocre et un bruit de fond parasité élevé. Restent donc le thulium 170 et l'ytterbium 169.

Si l'on compare les résultats que ces deux sources permettent d'obtenir en gammagraphie des faibles épaisseur d'alliages légers, on se rend compte que les qualités d'images ne sont pas significativement différentes.

En conséquence, seul le bilan comparatif de la facilité d'approvisionnement, des temps de pose nécessaires et du temps d'utilisation d'une même source est à prendre en compte.

Ce bilan étant légèrement favorable au thulium 170 nous avons décidé de retenir ce radionucléide. Deux systèmes de détection ont été étudiés en parallèle. Nous allons indiquer leurs principes, leurs performances et leurs avantages respectifs.

### III.- METHODE RADIOMETRIQUE

#### III.1. Principe de la méthode

Le schéma du montage expérimental utilisé est donné par la figure 2.

Le détecteur est une sonde à scintillation équipée d'un cristal d'iodure de caesium ( $h = 4\text{mm}$ ,  $e = 7\text{mm}$ ). Cette sonde est alimentée par un radiamètre; comme les taux de comptage obtenus étaient faibles, on a en fait utilisé simultanément une échelle de comptage avec pré-temps réglable (10 ou 100 s).

Le détecteur étant lui-même protégé par un blindage secondaire en tungstène dans lequel était ménagé un orifice collimaté, cruciforme.

La brique étalon est maintenue par un bras support muni d'un collier et solidaire d'une platine micrométrique réglable en (X,Y) à  $\pm 0,01\text{mm}$ .

Il s'agit donc par déplacement de la brique, dans laquelle on a introduit la canne porte-source, d'amener en coïncidence l'axe de la source, défini par le collimateur primaire, et l'axe du détecteur défini par le collimateur secondaire, en cherchant le maximum du taux de comptage.

#### III.2. Résultats obtenus

Dans un premier temps on peut, à l'aide de l'indication fournie par le galvanomètre du radiamètre, déterminer un maximum approximatif.

Ensuite, on peut explorer la zone où le taux de comptage est maximal en réduisant le pas d'exploration et en augmentant le temps de comptage pour améliorer la précision statistique.

## CONTROLE RADIOMETRIQUE D'AXES

Ceci nous a permis d'obtenir une mesure, à  $\pm 0,05\text{mm}$  près, de la position de l'axe réel en fond de trou, ce, même après de nombreux montages et démontages du dispositif expérimental.

### III.3. Conclusions relatives à cette méthode

Cette méthode nous semble d'un emploi très limité, en contrôle industriel. En effet, si la précision obtenue peut être considérée comme tout à fait correcte, la mise en oeuvre d'une telle méthode n'est concevable que trou par trou, elle nécessite la répétition de mesures précises (il faut environ entre 1/4h et 1/2h pour obtenir un résultat) et ne laisse pas de trace sous forme d'un document graphique. Toutefois, elle pourrait être mise en oeuvre directement sur une machine-outil, la tête de mesure étant liée à la cinématique de la machine; il serait ainsi envisageable de contrôler les axes de perçage sur la chaîne d'usinage.

Néanmoins, insistons sur le fait que ces essais ont été effectués avec les "moyens du bord" et rapidement; il est clair que des améliorations pourraient être apportées pour rendre meilleur le contraste de la mesure et donc la rapidité et/ou la précision du contrôle.

## IV. METHODE RADIOGRAPHIQUE

### IV.1. Procédé utilisé pour obtenir simultanément l'image des axes théoriques et celle des axes réels

Une canne porte-source équipée d'une source de thulium 170, identique à celle utilisée lors des essais de contrôle radiométrique est introduite dans le trou à contrôler.

Le bloc usiné est disposé, par un assemblage précis, sur une cassette radiographique à épaulement, dans laquelle est disposé sans précaution particulière quant à sa position, un film photographique (figure 3).

Celui-ci va enregistrer l'image du faisceau collimaté de photons X ou  $\gamma$  émis par la source. On obtient ainsi une tache carrée de côtés égaux à quelques dixièmes de millimètre, aux contours bien définis.

La cassette présente, en plus du positionnement par épaulement une deuxième particularité. Sur une des faces en contact avec l'émulsion on a disposé une grille métallique (feuille de nickel électro-usinée et positionnée avec précision), qui reproduit l'image (cruciforme ou circulaire-cf figure 3) des axes théoriques des trous à contrôler.

Cette grille masque en partie une source plane émettrice de particules  $\beta$  de faible énergie (dans notre cas plaque de polyméthacrylate-<sup>14</sup>C), qui dès le chargement, imprime sur l'émulsion l'image des axes théoriques. Ainsi on a enregistré simultanément les positions des axes réels et ceux des axes théoriques. Les principaux avantages de cette méthode sont les suivants :

- le chargement du film dans la cassette s'effectue sans autres précautions que celles des films en radiographie industrielle classique,
- on peut multiplier les contrôles et enregistrer sur le même cliché autant de positions d'axes réels que l'on désire (par exemple 12 à 15 par bloc),
- il subsiste un document, dont l'interprétation est extrêmement simple.

## CONTROLE RADIOMETRIQUE D'AXES

En effet, on peut :

- soit accepter ou rejeter un bloc selon qu'un spot ( $\gamma$ ) carré (axe réel) se trouve ou non à l'intérieur du cercle ( $\beta$ ) de tolérance (figure 3b)
- soit effectuer des mesures (à la loupe, au projecteur de profil ou à l'analyseur d'image), (figure 3C).

### IV.2. Essais d'optimisation "précision/cadence de contrôle"

De très nombreux essais, destinés à obtenir la meilleure précision possible compatible avec une cadence de contrôle élevée (1 cliché toutes les 4 minutes) ont été effectués. Ils ont porté sur les collimateurs, les cassettes, les filtres, les écrans, les émulsions et leur traitement.

En particulier, trois classes d'émulsions ont été étudiées systématiquement :

- a) les films radiographiques bicouches "rapides" (Kodak Kodirex et Gevaert Structurix D10),
- b) les films radiographiques bicouches "moyens" (Kodak Industrex A et Gevaert Structurix D7),
- c) deux films monocouches du type "Arts graphiques", parmi les plus rapides pour ce type d'emploi (Ilford Ilfoset FP42 et Kodak Kodalith Royal Ortho 2769).

Pour chacun de ces films on a étudié la sensibilité aux particules  $\beta$  du carbone 14, aux photons X et  $\gamma$  du thulium 170, le pouvoir de résolution, le bruit de fond et la granulation.

Ces essais ont montré que les films de la classe (b) présentent le meilleur compromis "rapidité/définition", à la fois pour l'enregistrement des particules  $\beta$  et des photons X et  $\gamma$ .

On a montré en particulier que, compte tenu de la granulation propre aux films de classe (a), d'une part, et la classe (b) d'autre part, les temps de pose minimaux nécessaires ne sont pas dans le rapport des rapidités (1/4) mais probablement dans le rapport des quotients "signal-granulation", c'est-à-dire, 1/1,6 à 2 pour obtenir des lisibilités équivalentes.

De plus, l'utilisation du révélateur SOPRECO CS 46 pour le développement de ces émulsions permet encore d'améliorer la rapidité apparente de ces émulsions, sans altérer leur qualité d'image.

### IV.3. Performances de la méthode

Les résultats de ces essais ont montré que :

- il est possible d'obtenir un cliché en 4 minutes,
- les sources de thulium 170 (d'activité initiale égale à 5 à 6 Ci) ne seront remplacées que tous les 250 à 300 jours,
- les précisions géométriques obtenues dans des conditions plus sévères qu'en atelier de fabrication (en particulier plus de 100 mises en place du même bloc étalon entraînant des usures) ont été de l'ordre de 1/20 de la tolérance d'usinage admissible.

IV.4. Possibilités d'automatisation complète du procédé

IV.4.1. Motivation - Problèmes à résoudre

Nous venons de définir les conditions qui permettraient d'effectuer un cliché exploitable par examen visuel à une cadence de 1 cliché toutes les 4 minutes.

A partir du moment où ceci est possible, il nous a semblé intéressant d'examiner les possibilités d'automatisation de ce contrôle dimensionnel jusqu'à et y compris l'interprétation automatique des résultats.

Cette automatisation implique les maillons successifs suivants dans la chaîne :

- A.- Avance et positionnement automatique du bloc sur la cassette,
- B.- Cassette à avance automatique,
- C.- Traitement automatique du film en rouleau en machine,
- D.- Lecture du cliché, traitement de l'information et sortie des résultats.

Les points A et B ne seront pas traités ici, mais sont solubles.

Le point C a été vérifié par nos soins. Les films de la classe (b) (Gevaert D7 ou Kodak A) sont utilisables dans ces conditions, mais leurs performances sont moindres (rapport signal/granulation diminué d'un facteur 2 environ).

Le point D a fait l'objet d'une étude plus originale.

IV.4.2. Essais de systèmes d'analyse automatique d'images

Depuis quelques années de tels systèmes se sont développés et sont maintenant utilisés dans de nombreux laboratoires, et, principalement en biologie et en métallographie.

Le principe de ces systèmes est le suivant :

- le cliché à analyser est éclairé (en lumière transmise ou réfléchie) et est filmé par une chaîne de télévision,
- le signal vidéo est numérisé, chaque ligne du balayage étant découpée en un certain nombre de points-image, et la densité optique, pour chaque point-image est affectée d'une valeur discrète.

La matrice composée de ces valeurs est introduite dans la mémoire d'un ordinateur qui permet d'effectuer divers calculs, tel que :

Discrimination en fonction de la densité, calcul de surfaces, de périmètres, de coordonnées de barycentre, tris divers, etc...

Deux constructeurs de tels systèmes ont accepté de faire des essais sur des clichés témoins fournis par nous, il s'agit de :

- BAUSCH et LOMB (USA)
- IMANCO (GB), devenu depuis la date des derniers essais "CAMBRIDGE INSTRUMENTS".

IV.4.3. Mode opératoire - Résultats obtenus

A l'aide de ces systèmes les limites de lisibilité sont approximativement les mêmes que celles déterminées ci-dessus pour l'examen

visuel.

Pour chaque trou contrôlé (12 à 15 par bloc), dont la position relative dans le bloc sera connue et entrée au clavier dans la mémoire du système, celui-ci effectuera les opérations suivantes :

- identification du spoty par un test de minimum de surface,
- calcul des coordonnées du barycentre, du spot  $\gamma$  et des segments du réticule  $\beta$ ,
- calcul des écarts entre coordonnées de l'axe réel et de l'axe théorique ( $\Delta X$  et  $\Delta Y$ ),
- calcul de l'excentrement 
$$\Delta \rho = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$
- impression en téléimprimeur :
  - du numéro du trou,
  - de  $\Delta \rho$
  - d'une alerte si  $\Delta \rho$  est supérieur à la tolérance admise,
  - éventuellement  $\Delta x$  et  $\Delta y$

Les résultats obtenus au cours des essais ont été reproductibles. De plus, les écarts  $\Delta \rho$  calculés par les systèmes sont en accord avec ceux relevés au projecteur de profil à un grandissement X 10.

Enfin, selon les constructeurs, la cadence de 1 cliché toutes les 4 minutes peut être atteinte.

#### IV.4.4. Conclusions relatives au contrôle automatique

Nous avons, tant pour le développement, que pour l'interprétation automatique, montré que les performances requises, tant en précision géométrique, qu'en cadence de contrôle, pouvaient être obtenues.

De plus, le cliché peut être archivé et de toute façon examiné facilement par un contrôleur, à l'aide d'un système optique tel que loupe, microscope ou projecteur de profil.

#### V. CONCLUSIONS

Cette étude a permis, grâce à une série de mises au point successives tant au niveau des sources, des collimateurs, des cassettes à réticules  $\beta$  que des émulsions et de leur traitement, de démontrer que le procédé proposé permet de contrôler un bloc toutes les 4 minutes sur la chaîne de contrôle. Il fournit un document clair, archivable et sur lequel des mesures plus fines que la simple acceptation par tout ou rien, sont possibles à tout moment, avec une excellente précision.

De plus, la démonstration a été faite de la possibilité d'intégrer et d'automatiser intégralement ce procédé.

## CONTROLE RADIOMETRIQUE D'AXES

D'autre part, il est possible sinon probable que le principe de telles mesures dimensionnelles et également leur interprétation automatique puisse intéresser d'autres industries que celle pour laquelle l'étude a été faite.

Il est certain, toutefois, que des précisions telles que celles obtenues ici ne pourront l'être que dans le cas ou des faibles épaisseurs de matériaux peu absorbants seraient intercalées entre source et détecteur.

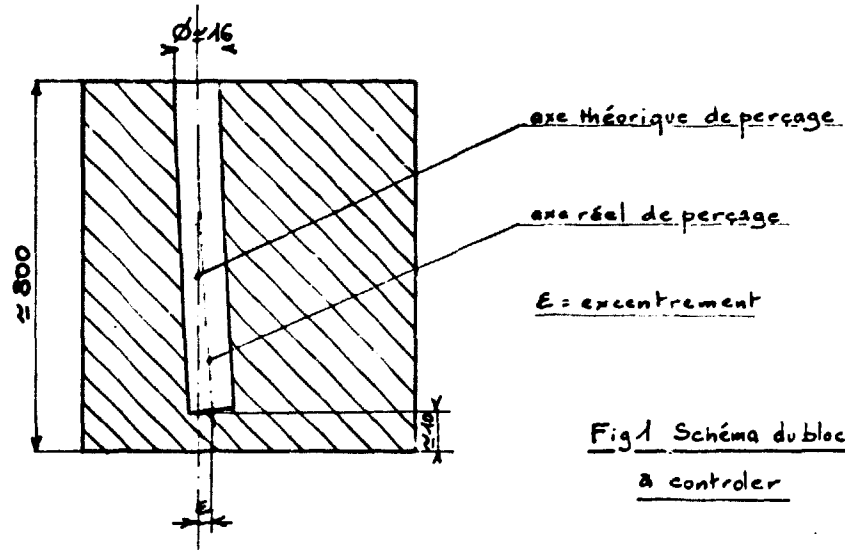


Fig 1. Schéma du bloc à contrôler

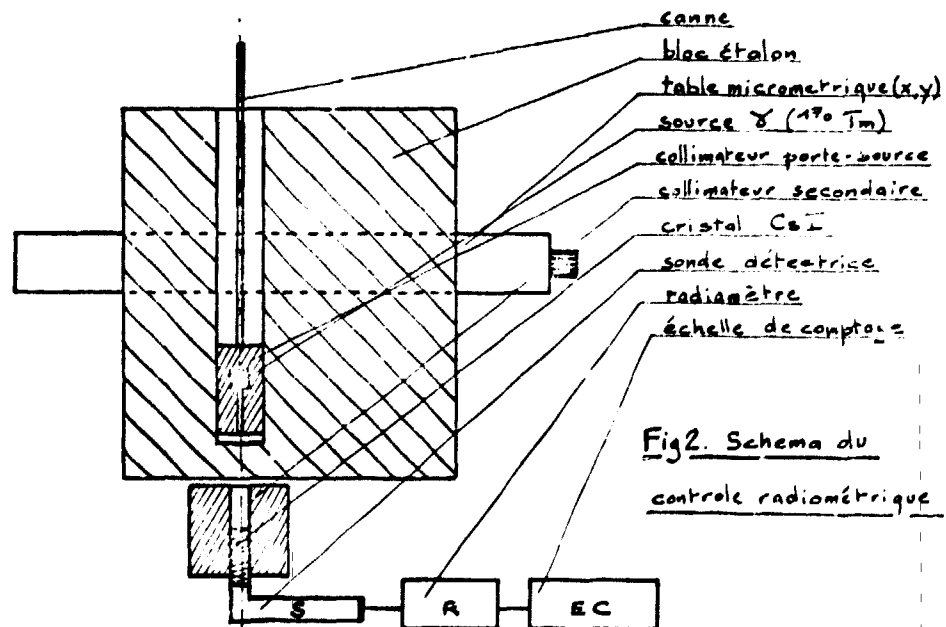


Fig 2. Schéma du contrôle radiométrique

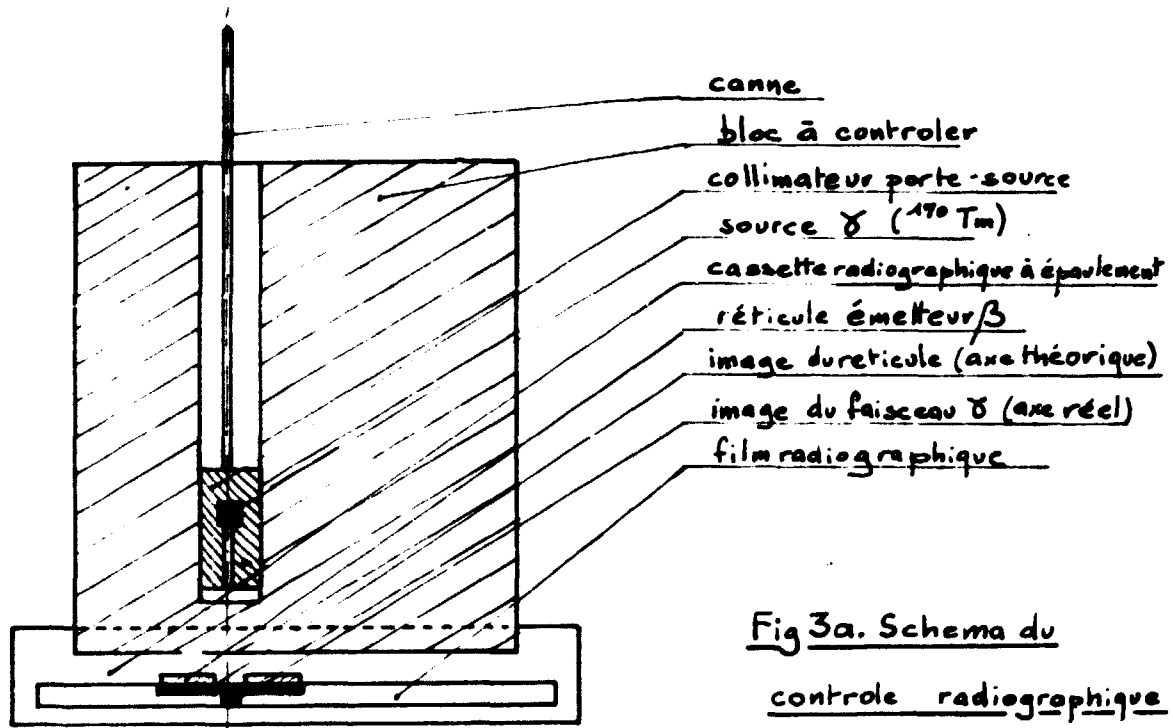
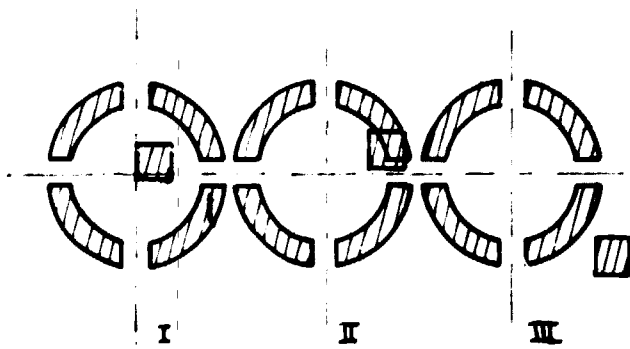
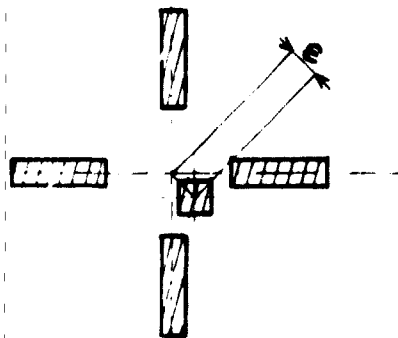


Fig 3a. Schema du  
contrôle radiographique



I acceptation  
 II & III rejet

Fig 3b. Réticule circulaire



$e$  = excentrement

Fig 3c. Réticule croiciforme