



6<sup>ème</sup> Conférence Européenne sur les Contrôles Non destructifs  
6th European Conference on Non Destructive Testing

## LES CONTROLES NON DESTRUCTIFS ET LA NEUTRONOGRAPHIE EN 1994

G. Bayon

( Commissariat à l'Energie Atomique - DRN/DRE SACLAY - France )

### RESUME

Neutron Radiography has been considered for a long time as a future technique, however it plays a minor part in the world of nondestructive testing today. Two different reasons explain this situation, lack of suitable neutron sources and, of new industrial applications. This paper provides a review of the present status of NR activities specially in France and the last applications of neutron dynamic imaging.

### INTRODUCTION

La première grande conférence internationale portant sur la radiographie aux neutrons a eu lieu à Birmingham en 1973 ( 1 ). Plus de cent participants provenant de douze pays différents y ont débattu de tous les domaines intéressant cette nouvelle technique alors en plein essor. Le vent d'optimisme qui régnait à l'époque était généré par les travaux d'une quarantaine d'équipes de recherche réparties en Amérique du nord et dans l'Europe de l'ouest à parts sensiblement égales. En 1992, la dernière conférence mondiale sur le sujet a également rassemblé une centaine d'experts de vingt pays mais force est de constater que les applications de contrôle de production qui y ont été évoquées étaient déjà d'actualité en 1973.

Les activités de contrôle non destructif de production restent centrées sur des créneaux spécifiques très étroits qui sont décrits dans la présente communication. Les plus récentes applications qui font appel aux techniques d'imagerie en temps réel sont issues de programme de recherche et développement qui sont à la frontière du domaine des CND traditionnels.

### LES SOURCES DE NEUTRONS

Les sources neutroniques les plus utilisées en CND par neutronographie sont des réacteurs nucléaires de recherche sur lesquels un ou plusieurs faisceaux sont aménagés spécialement pour répondre aux besoins des industriels. Ces installations délivrent une très haute intensité de neutrons ce qui permet d'utiliser des détecteurs performants en terme de résolution et d'avoir cependant des temps de pose raisonnables. La qualité d'image obtenue est analogue à celle de la radiographie X. Le déplacement de la production à contrôler auprès du réacteur constitue l'inconvénient majeur de cette solution.

## **Les contrôles non destructifs et la neutronographie en 1994 ( suite )**

De nombreux programmes de développement d'accélérateurs produisant des neutrons pour des contrôles en imagerie sont en cours actuellement:

- Programme DIANE à l'aide d'une réaction  $T(d,n)$  en France chez SODERN ( 2 )
- Projet de cyclotron miniature  $Be(p,n)$  en Grande Bretagne chez OXFORD INSTRUMENTS ( 3 )
- Accélérateur linéaire  $Be(p,n)$  aux Etats Unis chez ACCSYS TECHNOLOGY INC. ( 4 )

Le but de ces programmes est de fournir une source de neutrons accessible aux industriels. Deux paramètres pèseront lourdement au moment du choix d'un utilisateur potentiel. En premier lieu, le coût d'achat du matériel qui dans le meilleur des cas sera dix fois supérieur à un tube radiogène de haut de gamme et les performances de la source en terme d'intensité et de portabilité. Il faudra en fait que la radiographie aux neutrons s'impose comme la seule méthode de CND pour l'application envisagée.

Le californium 252, radioélément émetteur de neutrons par fission spontanée a été un candidat sérieux pour la neutronographie portable. Il est cependant très peu utilisé aujourd'hui en raison d'inconvénients majeurs que sont le coût, la lourdeur de la radioprotection, l'intensité gamma parasite également émise.

### **LES TECHNIQUES DE DETECTION**

Comme la radiographie X, les contrôles de production en neutronographie continuent à privilégier le support photographique pour enregistrer et stocker l'information. Les avantages et inconvénients du film argentique sont bien connus et seul le besoin des utilisateurs en terme de résolution décourage actuellement le passage au "tout numérique". Seule cette voie permet de mettre en oeuvre efficacement des chaînes de contrôle à décision automatique qui sont nécessaires pour les grandes séries.

L'imagerie par rayonnement a tout de même bénéficié des progrès récents du matériel informatique et du très large développement des logiciels de traitement d'image. La neutronographie est maintenant accessible au niveau des laboratoires, quand le temps de pose n'est pas un paramètre déterminant, en employant des sources de faible intensité qui jusqu'à présent étaient inutilisables.

La visualisation des phénomènes dynamiques est le seul domaine que ai vraiment évolué ces dernières années grâce aux nouvelles caméras électroniques mises sur le marché industriel. Les gains en résolution, la réduction du bruit et l'abaissement des coûts vont encore évoluer et se rapprocher des performances du film photographique.

On assiste par contre à un réel intérêt pour les techniques d'analyse neutronique qui ne font pas appel à une image directe de l'objet. La mesure de contraintes résiduelles dans les structures cristallines par diffraction neutronique est une technique de laboratoire qui pourra déboucher sur des contrôles in situ. L'analyse par activation et surtout la spectrométrie des rayonnements secondaires issus des captures neutroniques sont en plein développement et intéressent des domaines sensibles comme le contrôle des déchets radioactifs, le désarmement nucléaire ou la lutte contre le trafic de drogue ( 5 ).

### **LES APPLICATIONS DE LA RADIOGRAPHIE AUX NEUTRONS**

#### **SECTEUR NUCLEAIRE**

Historiquement la neutronographie est née sur les centres d'études nucléaires et plus particulièrement auprès des réacteurs expérimentaux. Aujourd'hui encore, ces examens sont pratiqués dans les programmes d'étude du

## **Les contrôles non destructifs et la neutronographie en 1994 ( suite )**

comportement des combustibles irradiés. C'est le seul moyen non destructif connu pour obtenir une image fidèle de la structure interne du combustible après son séjour dans le coeur du réacteur.

Pour compléter ce domaine, on peut également citer le contrôle d'écrans neutroniques utilisés pour la radioprotection ou la criticité. Bien que pouvant recourir à l'imagerie, ces besoins sont généralement satisfaits en employant un compteur neutronique et une source ponctuelle par mesure directe de l'absorption ( 6 ).

### ***SECTEUR AEROSPATIAL***

La pyrotechnie spatiale qui est mise en oeuvre sur les lanceurs et les satellites en raison d'un rapport masse - énergie très élevé se caractérise par des productions faibles et des enjeux économiques énormes. Ces produits n'ayant pas des lois de fiabilité suffisamment connues subissent de nombreux CND. La radiographie aux neutrons y occupe une place privilégiée.

Elle permet en particulier de visualiser les poudres et explosifs à travers les enveloppes métalliques de confinement. Le contrôle des cordons détonants à l'hexogène sous plomb constitue l'exemple le plus significatif. Il est pratiqué en France, depuis 25 ans, auprès des réacteurs du Commissariat à l'Energie Atomique.

Dans le cadre du programme ARIANE, pour chaque lanceur, plus de 500 pyromécanismes subissent un contrôle neutronographique à Saclay avant leur intégration.

La pyrotechnie utilisée en automobile ( système AIRBAG ) est caractérisée quant à elle par de très grandes séries où l'on peut maîtriser la production en "qualité totale". Les impératifs de coût minimum ont écarté tout CND de recette. La neutronographie n'intervient qu'au stade du développement ou en expertise.

### ***SECTEUR AERONAUTIQUE***

La plus grosse application industrielle de la neutronographie en production se situe sur ce créneau chez les motoristes aéronautiques anglais et américains. Il s'agit du contrôle du décochage des aubes de turbine ventilées en super alliage à base nickel qui sont élaborées par moulage sur un noyau céramique. Après refroidissement, le noyau est dissous par voie chimique. La neutronographie est utilisée pour s'assurer de l'absence de résidus de noyau qui pénalisent le refroidissement en service. Depuis 20 ans, plusieurs milliers de pièces sont ainsi contrôlées chaque année outre-atlantique. Un programme de cyclotron dédié à la neutronographie est actuellement soutenu par Rolls-Royce pour pallier le manque de réacteur en Grande Bretagne ( 7 ).

### ***SECTEUR METALLURGIQUE***

Contrairement aux rayons X, il est très difficile de faire varier instantanément l'énergie des neutrons. Le contrôle neutronographique s'applique donc mal à l'examen des matériaux homogènes et est plutôt utilisé sur des alliages ou des composites dont un constituant au moins est absorbant aux neutrons. Les contrôles de routine sont du domaine nucléaire. Le secteur industriel fait cependant appel à la technique dans le cadre limité des expertises ( brasure, collage ... ).

L'application potentielle ayant mobilisé le plus d'énergie ces dernières années concerne la détection de la corrosion sur les alliages d'aluminium aéronautiques. La formation de composés tels que les hydroxydes est facilement révélée par les neutrons, des expériences de laboratoire ont montré que la corrosion est détectée dès qu'elle atteint 30  $\mu\text{m}$  sur une épaisseur totale de 100 mm. Pour les épaisseurs couramment employées sur des éléments de voilure, cette sensibilité atteint 3%. La seule réalisation dans ce domaine est implantée sur la base

## **Les contrôles non destructifs et la neutronographie en 1994 ( suite )**

Mc Clellan de Sacramento où l'US Air Force a construit deux installations de neutronographie pour les opérations de maintenance de ses avions chasseurs ( 8 ).

La conquête du marché de la maintenance des avions civils représente actuellement un challenge pour les spécialistes, mais il semble difficile à la neutronographie de s'imposer face aux techniques concurrentes. L'emploi du rayonnement neutronique peu connu des opérateurs de CND, la nécessité d'un accès aux deux faces opposées des structures et la durée du contrôle constituent ses principaux handicaps.

### **L'IMAGERIE NEUTRONIQUE EN DYNAMIQUE**

L'examen de systèmes cinématiques est un domaine éloigné du CND puisque les observations intéressent la plupart du temps des prototypes et non des productions industrielles. En fait l'imagerie est utilisée pour observer des phénomènes sur lesquels les ingénieurs ont peu d'information. Les images fournies servent à la compréhension et à la modélisation des phénomènes ou aident à la mise au point du système. L'amélioration spectaculaire du matériel vidéo, des caméras et de l'informatique associée contribue au développement de cette technique encore peu connue.

La plupart des applications reposent sur la visualisation de fluides en mouvement dans des structures métalliques. Ce sont en fait les noyaux d'hydrogène contenus dans ces fluides qui sont détectés par les neutrons. Les principaux phénomènes observables directement peuvent être énoncés brièvement:

- Lubrification à l'huile ( moteur, boîte de vitesses... )
- Comportement des carburants ( carburateurs, injecteurs... )
- Ecoulements diphasiques ( échangeurs, condenseurs... )
- Transfert de fluides en milieux poreux ( humidification des sols, migration des polluants... )

### **LES APPLICATIONS EN FRANCE DE LA NEUTRONOSCOPIE**

Actuellement, la réfrigération domestique et l'automobile font appel à l'imagerie neutronique.

Dans le cadre des directives internationales qui ont décidé de suspendre la production et l'utilisation du fréon, l'industrie frigorifique a eu une tâche délicate pour trouver des produits de substitution. Les centres de recherche de TOTAL ont été chargés de développer une huile de synthèse compatible avec les nouveaux produits frigorigènes considérés comme non nocifs pour l'ozone. La neutronoscopie proposée au CEA a été retenue pour l'observation directe, en conditions réelles d'utilisation, des mélanges frigorigènes élaborés pendant la phase de mise au point ( 9 ).

Les propriétés de miscibilité de l'huile et du frigorigène sont critiques pour un fonctionnement correct des appareils de réfrigération domestique à circuit fermé avec compresseur. Grâce aux différences de concentration en nombre d'atomes d'hydrogène par unité de volume, l'imagerie neutronique en dynamique a permis de distinguer au niveau des évaporateurs les composants essentiels que sont le réfrigérant en phase liquide et gazeuse et le lubrifiant. Des campagnes de visualisation sont encore effectuées à Saclay en complément des essais d'endurance et d'usure menés dans les laboratoires de TOTAL.

Initiée depuis peu, l'étude de la lubrification des boîtes de vitesses automobiles constitue un programme commun des constructeurs RENAULT et PSA. Les campagnes de visualisation ont débuté en 1994, elles ont pour but la réduction du volume d'huile et l'amélioration du rendement.

## Les contrôles non destructifs et la neutronographie en 1994 ( suite )

### CONCLUSION

La radiographie aux neutrons comme moyen de contrôle en CND est sans doute en train de vivre un moment critique de son existence. Les sources actuellement utilisées pour la demande industrielle sont essentiellement des installations utilisant un faisceau neutronique issu d'un réacteur nucléaire et fonctionnant par prestations de service. La pyrotechnie spatiale et les aubes de turbine aéronautique sont les deux seules applications où la neutronographie est seule à répondre aux besoins. La disparition de ces créneaux ou l'émergence de techniques nouvelles condamneraient à coup sûr la neutronographie.

Les installations de neutronographie associées aux réacteurs du Centre d'Etudes de Saclay satisfont actuellement à la demande des industriels français et des programmes nucléaires. Le réacteur ORPHEE où sont pratiqués des examens sur films et en scopie fait partie de la dizaine de sites à travers le monde ayant une activité soutenue en CND de production.

L'utilisation plus large de l'imagerie neutronique pour de nouvelles applications ne pourra se faire sans l'apparition d'une source disponible directement chez les utilisateurs. L'utilisation des neutrons en imagerie et en analyse au sein d'une même entreprise peut constituer un élément déterminant au moment de l'investissement.

- [1] HAWKESWORTH, M.R. (ed.) (1975), "Radiography with neutrons" British Nuclear Energy Society, London.
- [2] CLUZEAU, S., HUET, J., LETOURNEUR, P., and MA, J.L. (1992), "Thermal neutron source using a sealed neutron tube", in BARTON, J.P. (ed.) *proc. of the fourth world conference*, Gordon and Breach Science Publishers, Yverdon, 453-457
- [3] HAWKESWORTH, M.R., ALLEN, M.J., ROGERS, J.D., TOWNSEND, N.J. (1992), "Neutron radiography using the nuffield cyclotron at the university of Birmingham", in BARTON, J.P. (ed.) *proc. of the fourth world conference*, Gordon and Breach Science Publishers, Yverdon, 447-449
- [4] HAMM, R.W., CRANDALL, K.R., HAMM, M.E., POTTER, J.M., RYMER, J.P. (1992), "A proton linac-based neutron radiography system", in BARTON, J.P. (ed.) *proc. of the fourth world conference*, Gordon and Breach Science Publishers, Yverdon, 461
- [5] RHODES, E., DICKERMAN, C.E., DEVOLPI, A, PETERS, C.W. (1992), "APSTNG: neutron interrogation for detection of nuclear and CW weapons, explosives and drugs" in BARTON, J.P. (ed.) *proc. of the fourth world conference*, Gordon and Breach Science Publishers, Yverdon, 827-835
- [6] SZABO, J.L., FERRET, F., ROLL, T., VERRECCHIA, R. (1994), "Contrôle qualité de matériaux neutrophages dans la cycle du combustible nucléaire" 6thECNDT
- [7] COX, M.P., BOULDING, N.J., PLUMMER, H. (1994), "Initials results from the neutron demonstrator facility at Oxford" 6thECNDT
- [8] FROOM, D.A., BARTON, J.P., BADER, J.W. (1992), "Neutron radiography at Sacramento ALC" in BARTON, J.P. (ed.) *proc. of the fourth world conference*, Gordon and Breach Science Publishers, Yverdon, 153-160
- [9] DU PARQUET, J., MORET, J.P. and BAYON, G. (1991), "Application de la neutronoscopie à la sélection de lubrifiants frigorifiques", *Revue générale du froid* 81, 47-51