

# Contrôle par irradiation de l'usure et de la corrosion des machines et des systèmes industriels

*Dans le cadre d'un projet appuyé par l'AIEA, plusieurs pays étudient les applications de la technique dite de l'activation en couche mince*

par I.O.  
Konstantinov et  
B.V. Zatolokin

Les processus de dégradation tels que l'usure et la corrosion, on le sait, ont une incidence considérable sur la fiabilité des équipements et machines industriels, des systèmes de transport, des centrales nucléaires et classiques, des pipelines et de différents autres matériels. Pour des raisons de sûreté et de rentabilité, on peut surveiller de façon appropriée cette détérioration en vue d'éviter de dangereux accidents lors de l'exploitation d'installations ou des véhicules industriels, ou encore des pannes entraînant un manque à produire.

Pour les cas où les surfaces des pièces mécaniques à examiner ne sont pas faciles à atteindre ou sont recouvertes par d'autres structures, les méthodes nucléaires se sont révélées de puissants outils d'investigation. On peut notamment citer la radiographie par rayons X, la neutronographie et une technique connue sous le nom d'activation en couche mince (ACM).

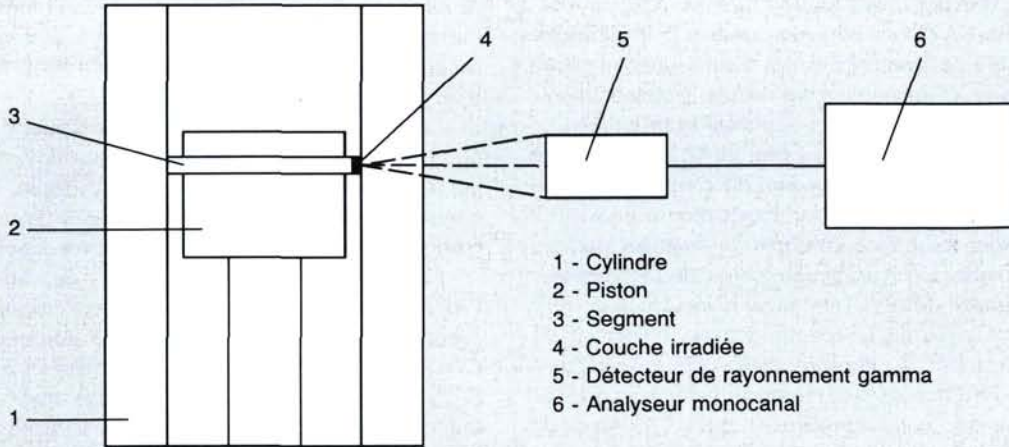
Des références techniques complètes sont disponibles auprès des auteurs. L'ACM est l'une des méthodes les plus efficaces dont on dispose pour contrôler l'usure et la corrosion. Grâce à des mesures à distance, elle permet d'examiner dans des conditions réelles de fonctionnement les éléments sensibles d'une machine ou d'une installation de traitement, et d'en déterminer le taux d'usure et de corrosion. L'ACM consiste essentiellement à produire une mince couche radioactive sous la surface étudiée, généralement en irradiant l'objet considéré dans un accélérateur (cyclotron).

Les méthodes employées pour rendre les pièces mécaniques radioactives au moyen d'un accélérateur sont au point. On est capable à l'heure actuelle de mesurer de façon extrêmement précise des vitesses de détérioration superficielle comprises entre 0,0001 et 1 millimètre par an. L'ACM a été utilisée pour mesurer le taux d'usure d'un grand nombre de composants, tels que les roulements, les arbres à cames et les disques de freins de véhicules, ainsi que les segments de pistons et les cylindres de moteurs à combustion interne. Plus récemment, cette technique a été appliquée à l'évaluation des phénomènes de corrosion et d'érosion subis par les pipelines, les ailettes de turbines à vapeur et à gaz, les plates-formes marines et les centrales nucléaires. Ses avantages sur le plan industriel dépassent largement les coûts liés à l'irradiation des pièces mécaniques par des accélérateurs et à l'achat du matériel radiométrique adapté.

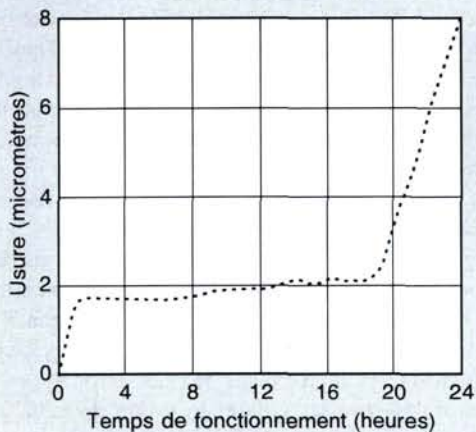
Face à l'intérêt manifesté par ses Etats Membres, l'AIEA a lancé en 1991 un programme de recherche coordonnée sur le recours aux méthodes nucléaires pour surveiller l'usure et la corrosion dans l'industrie. Ce programme a notamment pour objectif le perfectionnement de la technologie d'irradiation au moyen d'accélérateurs de particules chargées et comprend plusieurs études techniques sur les applications pratiques de l'ACM dans différents secteurs industriels. Six établissements, situés en Chine, en Hongrie, en Inde, en Roumanie et en Russie, y participent. Leurs efforts sont en particulier axés sur la mise au point de nouveaux dispositifs d'irradiation et de systèmes de mesures, ainsi que sur les modalités pratiques de surveillance de l'usure et de la corrosion. Après une brève description technique de l'ACM, on se propose dans le présent article d'en illustrer les applications par plusieurs études de cas.

M. Konstantinov est membre de l'Institut de physique et de génie électrique d'Obninsk (Fédération de Russie), et M. Zatolokin travaille à la Division de la recherche et des isotopes de l'AIEA.

### Dispositif expérimental couramment employé pour le contrôle par ACM de l'usure et de la corrosion



### Usure d'un segment de piston dans un moteur à combustion interne



### L'ACM: une variante de la technologie des traceurs

On peut considérer l'activation en couche mince comme une variante de la technologie des traceurs radioactifs. Cette méthode consiste en effet à produire des traceurs radioactifs en irradiant les objets à étudier dans un accélérateur. En raison du parcours limité des particules chargées dans les matériaux denses, l'épaisseur de la couche activée est d'ordinaire bien inférieure à celle de la pièce mécanique. En général, la répartition en profondeur du traceur radioactif n'est pas uniforme et il faut la déterminer au cours d'un essai distinct à l'aide de techniques spéciales.

La pièce irradiée est ensuite mise en place sur la machine et l'activité du traceur radioactif est mesurée

On effectue dans l'industrie des études sur l'activation en couche mince (ACM) en vue de mesurer et de surveiller les processus de dégradation des machines et leurs composants. Parmi les applications récentes, on peut citer l'évaluation des phénomènes de corrosion et d'érosion auxquels sont soumis les pipelines, les ailettes de turbine, les plates-formes pétrolières marines et les équipements de centrales nucléaires.

au moyen d'un système de spectrométrie gamma adapté. En présence de processus d'usure (corrosion ou érosion), l'activité du traceur diminue plus rapidement que par décroissance naturelle. L'activité du traceur radioactif ne dépasse en général pas 10 microcuries et, dans la plupart des cas, il n'est pas nécessaire de prévoir de protection spéciale contre les rayonnements. (Voir le graphique et le tableau.)

## Etudes de cas réalisées au cours de travaux de recherche

**Moteurs à combustion interne.** A l'heure actuelle, l'ACM est largement utilisée pour surveiller l'usure des composants des moteurs à combustion interne, et notamment des couples frottants importants tels que segments de pistons et cylindres.

Des chercheurs russes ont étudié le taux d'usure d'un segment de piston dans différentes conditions de fonctionnement. Une expérience a consisté à irradier la surface chromée du segment par des particules alpha ayant une énergie de 28 mégaelectronvolts (MeV) et un angle d'incidence de 30°. L'épaisseur de la couche activée, contenant du manganèse 54 radioactif, était de 25 micromètres. Les résultats obtenus montrent que le taux d'usure augmente considérablement après 18 heures de fonctionnement environ. (*Voir le graphique.*)

Le recours à l'ACM a également donné des résultats intéressants à l'Institut de physique et de génie nucléaire de Bucarest (Roumanie). En irra-

diant la partie externe d'un segment de piston au moyen de deutérons ayant une énergie de 8,5 MeV, on a provoqué la formation de cobalt 57 qui a servi de marqueur radioactif. Les résultats des contrôles ont montré que le taux d'usure n'était pas uniforme sur toute la circonférence du segment de piston, mais qu'il présentait deux maximums.

Les travaux portent également sur d'autres aspects des systèmes de transport. A l'Institut de l'énergie atomique de Beijing (Chine) par exemple, des chercheurs étudient l'influence de la qualité du combustible sur le taux d'usure des locomotives diesel.

**Cuves sous pression.** Aux Etats-Unis, on a utilisé l'ACM dans une papeterie pour surveiller l'érosion et la corrosion sur la paroi interne en acier au carbone d'un lessiveur de pâte. Des échantillons représentatifs de l'acier de la paroi du lessiveur ont été irradiés et soumis à des essais. On a ensuite mesuré les pertes de poids et effectué des comparaisons avec des mesures d'épaisseur par ultrasons, ce qui a permis d'établir que l'ACM donnait une mesure précise du taux de corrosion en un temps beaucoup plus court.

**Machines-outils.** En Hongrie, des scientifiques de l'Institut de recherche nucléaire de l'Académie des sciences ont mis au point un système pour mesurer en ligne l'usure des lames d'outils rotatifs extrêmement durs en diamant polycristallin artificiel et nitrure de bore à cristaux cubiques. Les chercheurs ont irradié les outils par des protons dans un cyclotron, puis les ont soumis à des essais dans des conditions de laboratoire en se servant d'une meuleuse.

**Autres matériels.** D'autres travaux de recherche sur l'ACM sont par exemple consacrés à la surveillance des processus de dégradation sur les bossages des cames de moteurs, les métiers à tricoter (industrie textile), les articulations de hanches artificielles, les canons d'armes à feu, les compresseurs, les équipements de centrales nucléaires, les roulements, les rails et les roues de train, les engrenages et les composants de pipelines.

Répartition  
du cobalt 58  
en fonction de  
la profondeur  
dans le fer irradié

Distance par rapport à la surface (micromètres)	Activité du cobalt 58 (en valeur relative)
0	1,000
40,6	0,992
82,3	0,982
120	0,970
159	0,957
197	0,940
234	0,916
270	0,896
306	0,874
341	0,842
376	0,806
409	0,779
442	0,748
473	0,705
505	0,657
535	0,605
565	0,551
593	0,491
622	0,432
648	0,378
675	0,323
693	0,272
726	0,229
749	0,183
773	0,143
795	0,107
816	0,074
837	0,050
856	0,026
875	0,014
893	0,004
910	0,001

Remarque: Irradiation par des protons ayant une énergie initiale de 22 MeV.

## Une technologie généralisable

En s'appuyant sur ses applications pratiques, principalement mises en œuvre dans les pays industrialisés, et sur les travaux de recherche en cours, on pourrait aisément introduire l'ACM dans d'autres pays en développement, à condition que les infrastructures adéquates soient présentes. Il faut souligner qu'il n'est pas nécessaire que le pays dispose de l'accélérateur approprié (cyclotron ou accélérateur tandem par exemple) pour avoir recours à l'ACM. L'irradiation des pièces mécaniques peut avoir lieu dans les pays déjà équipés d'un tel accélérateur. De cette façon, on éviterait d'investir des capitaux importants dans la construction d'une installation équipée d'un accélérateur, ce qui permettrait de transférer plus rapidement cette technologie au monde en développement.