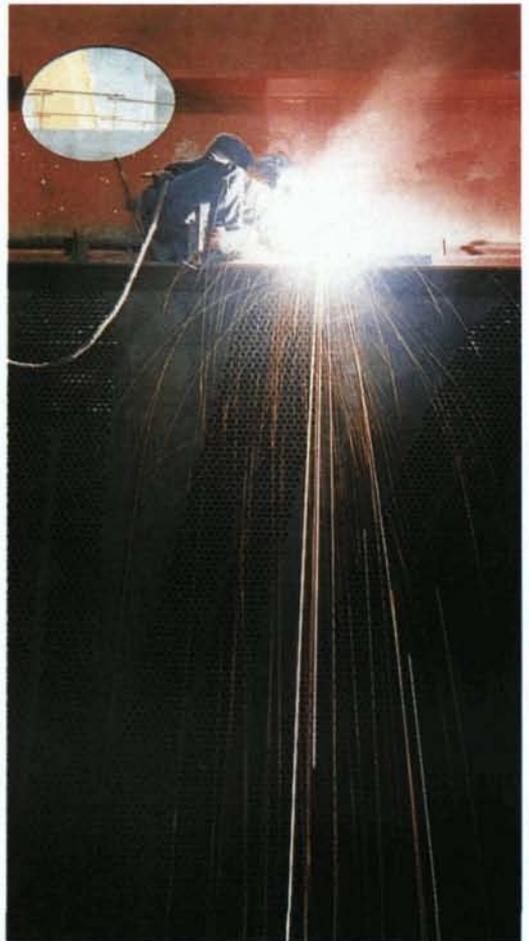




RAYONNEMENTS A L'ŒUVRE: Les techniques faisant appel aux rayonnements offrent à bien des égards des avantages pratiques aux industries. Elles servent, par exemple (de gauche à droite en partant du haut), à déterminer la teneur du charbon en cendres et en minéraux, à stériliser des articles médicaux, à conserver des aliments, à analyser la qualité des opérations de soudage, et à garantir la sûreté des pipelines.

Page ci-contre: Dans le secteur de l'énergie, diverses techniques faisant appel aux rayonnements servent à évaluer les réserves potentielles en pétrole et en gaz.

(Photos: EAEL, Hydro Ontario; Sodel Photothèque EdF; ANSTO; CEA)



Applications de l'énergie nucléaire et des rayonnements dans l'industrie: des outils novateurs

Aperçu des applications des techniques faisant appel aux rayonnements

Les applications de l'énergie nucléaire et des rayonnements contribuent depuis de nombreuses années à l'efficacité industrielle, à la conservation de l'énergie et à la protection de l'environnement.

Dans l'industrie, ces applications sont notamment les suivantes:

Industries manufacturières: les techniques de radiotraitement jouent un rôle de plus en plus grand dans la fabrication de produits courants tels que les fils et les câbles, les pneus d'automobiles, les pellicules et feuilles de plastique, et les matériaux de revêtement.

Procédés de fabrication: d'autres techniques faisant appel aux jauges radio-isotopiques sont indispensables pour effectuer des mesures d'épaisseur en ligne durant la fabrication du papier, du plastique et des tôles d'acier. Des contrôles du traitement et de la qualité sont effectués grâce à des systèmes de contrôle nucléaire intégrés dans les chaînes de production industrielle.

Sûreté industrielle et qualité du produit: les techniques d'examen ou d'essai non destructives par rayons X ou gamma sont couramment utilisées pour contrôler des soudures, des pièces de fonderie, des constructions mécaniques et des articles céramiques, du point de vue de la qualité et de la sûreté. En outre, les techniques faisant appel aux radiotraceurs sont des outils uniques pour l'optimisation des processus chimiques dans les réacteurs, la détection de fuites et les études d'usure et de corrosion par exemple.

Protection de l'environnement: une technique novatrice faisant appel aux faisceaux d'électrons pour extraire simultanément le dioxyde de soufre (SO₂) et les oxydes d'azote (NO_x) est à l'étude en Allemagne, au Japon, en Pologne et aux États-Unis. Les pluies acides dues au SO₂ et aux NO_x continuent encore à dévaster les forêts, les lacs et les sols. La technique de traitement par faisceaux d'électrons

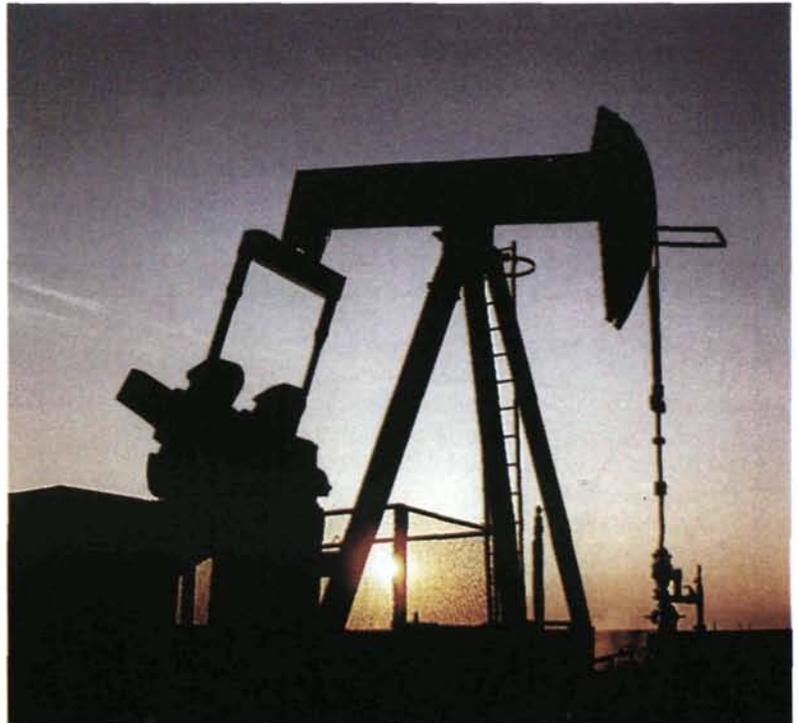
est très compétitive et ses sous-produits peuvent être utilisés comme engrais.

Cet article donne un aperçu de la situation actuelle des applications industrielles des techniques nucléaires et de leurs perspectives. L'AIEA contribue activement, à travers ses divers programmes de coopération, à transférer ces technologies aux pays en développement intéressés.

par S. Machi
et R. Iyer

Radiotraitement

Le radiotraitement est une technique couramment employée dans les chaînes de production industrielle. Par rapport aux méthodes de traitement plus classiques, cette technique présente un certain nombre d'avantages: son rendement énergétique est favorable, elle est facile à maîtriser et se prête à des applications concernant divers types de matériaux.



M. Machi est directeur général adjoint chargé du Département de la recherche et des isotopes de l'AIEA, et M. Iyer est directeur de la Division des sciences physiques et chimiques de ce département.

Les applications industrielles de radiotraitement sont très répandues dans de nombreux pays et se développent dans d'autres. Au Japon, 280 accélérateurs d'électrons étaient en service dans l'industrie et la recherche-développement en janvier 1994. Dans les pays en développement, les techniques de radiotraitement sont de plus en plus utilisées, souvent avec l'appui de l'AIEA qui les aide à former le personnel requis et à se procurer du matériel. Les grands domaines d'application sont notamment les suivants:

Polymères. La production industrielle de polyéthylène réticulé par irradiation pour l'isolation des fils et des câbles a commencé aux États-Unis dans les années 50. Depuis, les activités de recherche-développement ont débouché sur des applications industrielles importantes. Les matériaux suivants peuvent notamment être produits ou traités par irradiation: fils et câbles réticulés thermorésistants; mousse de polyéthylène; tubes et films thermorétractables; revêtements pour panneaux de bois, papier, tuiles de toiture, plaques d'acier ou de plâtre, disquettes, rubans adhésifs, composés bois-plastique (résistant à l'abrasion et à l'eau); flocculants polymériques (poids moléculaire élevé); pneus d'automobiles (réticulation); poudre téflon (par décomposition du téflon usagé); lentilles de contact; matières hydrophiles (pour couches à jeter, etc.); fibres déodorantes; polyuréthane réticulé (câbles pour les systèmes antiblocage ABS); nylon réticulé; séparateurs dans les batteries d'accumulateurs.

Ces produits ont des propriétés uniques. Dans de nombreux cas, le radiotraitement procure, par rapport aux procédés classiques, des avantages spécifiques qui tiennent aux propriétés des produits, aux coûts de production, à la plage importante des températures de traitement autorisées et à la protection de l'environnement.

Dans un certain nombre de pays en développement tels que la Chine et la République de Corée, la radioréticulation est appliquée à l'échelle industrielle depuis plusieurs années pour isoler les fils et les câbles.

Des travaux de recherche-développement sont en cours en vue de mettre au point des produits avancés,

— nouveaux systèmes d'administration de médicaments, matériaux biocompatibles et fibres de carbure de silicium (SiC) extrêmement résistantes à la chaleur.

Une nouvelle fibre SiC résistant à de très hautes températures a été mise au point à l'Institut de recherches sur l'énergie atomique du Japon (JAERI) à partir de fibres de polycarbosilane (PCS) radioréticulées ayant subi un traitement thermique à 1200°C. Elle s'est révélée bien plus réfractaire que la fibre SiC préparée à partir de fibres PCS réticulées chimiquement (méthode classique). (Voir graphique.)

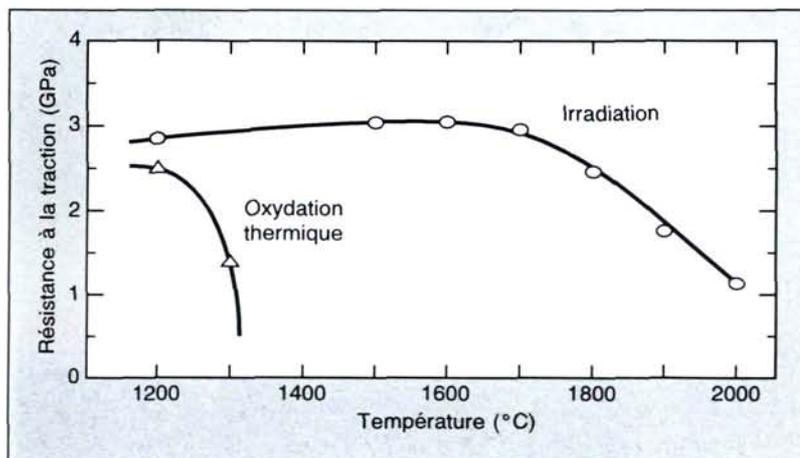
La réticulation exige une dose de 10 MGy délivrée par un accélérateur d'électrons. Le JAERI exploite une installation pilote qui irradie sous vide 4,5 kilos de PCS par lot. Le projet a été lancé pour perfectionner cette technique et construire une installation industrielle capable de produire une tonne de fibres SiC par mois. Ce niveau de production est prévu pour 1996.

Les applications du radiotraitement des revêtements de surface sont en expansion, tant pour ce qui est de la quantité de produits traités que de la mise au point de nouveaux produits. Cet essor est dû aux avantages que présente cette technique sur le plan de la qualité des produits, du rendement énergétique et de la protection de l'environnement. Le traitement thermique classique des revêtements consiste à former un film polymère sur un substrat par évaporation de solvants organiques. Les solvants évaporés (hydrocarbures) sont rejetés dans l'atmosphère sous la forme de gaz à effet de serre et forment des oxydants. La consommation mondiale de revêtements classiques s'élève à quelque 20 millions de tonnes par an. Il s'ensuit que huit millions de tonnes de solvants organiques (40% de la consommation totale de revêtements de surface) sont rejetés dans l'environnement chaque année. Le fait que les revêtements traités par faisceaux d'électrons et rayons ultraviolets ne contiennent pas de solvants permet d'éviter ce problème. Toutefois, ces revêtements ne représentent toujours qu'1% de l'ensemble des revêtements utilisés. On s'attend à ce que leur emploi connaisse un rapide essor pour des raisons écologiques.

Stérilisation de produits médicaux. Dans les pays industrialisés, entre 40 et 50% des articles médicaux sont radiostérilisés (à l'aide d'accélérateurs d'électrons ou de cobalt 60) et ce pourcentage devrait atteindre environ 80% dans les années à venir. La radiostérilisation s'est révélée préférable au traitement classique à l'oxyde d'éthylène en raison de son innocuité pour les travailleurs et les consommateurs, de sa fiabilité et de sa simplicité.

Cette application devrait se développer rapidement dans les pays en développement. L'AIEA et le Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) ont exécuté des projets en vue de la création d'installations de radiostérilisation en Inde, en République de Corée, au Chili, en Hongrie, en Iran, en Turquie, au Pérou, en Bulgarie, au Portugal, en Syrie, en Equateur et au Ghana.

Comparaison de résistance à la chaleur des fibres SiC produites par traitement thermique et par irradiation



La radiostérilisation des produits cosmétiques et des matières premières destinées à l'industrie pharmaceutique est aussi en train de se développer.

Epuraton des gaz de combustion. Les pluies acides dues au SO_2 et aux NO_x contenus dans les émissions gazeuses résultant de l'utilisation de combustibles fossiles sont responsables de graves détériorations de l'environnement. Une technique novatrice faisant appel à des faisceaux d'électrons pour extraire simultanément ces polluants a été d'abord mise au point au Japon puis étudiée par des groupes de recherche aux Etats-Unis, en Allemagne, en Italie et en Chine. Une installation pilote est actuellement exploitée à Varsovie dans le cadre d'un projet commun AIEA/Gouvernement polonais. Cette installation peut épurer 20 000 m³ de gaz de combustion émis par une centrale de chauffage urbain locale utilisant du charbon.

Récemment, l'installation a fonctionné en continu pendant plus d'un mois éliminant 90% du SO_2 et 85% des NO_x contenus dans les gaz de combustion. Il est prévu de créer, dans le cadre d'un projet modèle de l'AIEA, une installation industrielle à faisceaux d'électrons pour traiter les émissions de gaz de combustion des centrales électriques polonaises fonctionnant au charbon.

Au Japon, trois installations pilotes à faisceaux d'électrons assurent sans problème l'épuration des gaz de combustion provenant respectivement de centrales électriques au charbon, d'incinérateurs de déchets urbains et de tunnels routiers.

Désinfection et recyclage des boues résiduaires. La désinfection des boues résiduaires par irradiation a été étudiée dans des installations pilotes ou industrielles. En Allemagne et en Inde, des installations industrielles de taille normale fonctionnent de façon satisfaisante. Les boues irradiées sont utilisées comme engrais organique. Au Japon, la technique d'irradiation des boues suivie d'un compostage a été mise au point pour produire du compost désinfecté à des fins agricoles. L'AIEA prévoit de lancer un nouveau programme en vue d'intensifier le transfert de cette technologie aux utilisateurs finals.

Purification de l'eau. L'élimination par irradiation des polluants organiques dans les eaux usées et dans l'eau potable naturelle est également à l'examen. L'Autriche exploite une installation pilote qui traite l'eau potable à l'aide de faisceaux d'électrons et d'ozone. A Miami, en Floride, une étude a été effectuée pour évaluer l'efficacité et la rentabilité du traitement par faisceaux d'électrons pour éliminer les polluants toxiques notamment dans les eaux souterraines, les effluents secondaires et l'eau potable.

Radiotraceurs. Un traceur est une substance ajoutée à dessein dans un système pour en étudier le comportement dynamique. Les traceurs radioactifs, très sensibles et faciles à mesurer, sont très largement utilisés et permettent, grâce à des techniques non destructives, d'observer en temps réel des réactions

chimiques et des processus physiques, même dans des systèmes fermés, à des températures et à des pressions élevées. Ils sont appliqués dans les domaines suivants: recherche de fuites et localisation de points d'obturation dans les canalisations enterrées et dans d'autres systèmes industriels (industrie pétrolière et pétrochimique); études des mélanges dans les industries métallurgique et chimique (fabrication d'alliages); mesure des taux d'usure et contrôle de l'usure des machines tournantes (machines-outils et pistons de moteurs à combustion interne); étude de la distribution des temps de séjour dans les cuves industrielles (pétrochimie); optimisation des paramètres des processus; analyse de la dispersion des polluants dans l'environnement.

Ces applications sont à présent bien établies et largement mises à profit dans l'industrie partout dans le monde. Leurs avantages réels sont indirects dans la mesure où les secteurs qui en seraient privés se révéleraient, en raison des coûts de fabrication et de la non-optimisation des paramètres de processus, inefficaces et inéconomes et, par conséquent, non compétitifs.

Systèmes de contrôle nucléaire. L'application de l'analyse en ligne dans l'industrie d'extraction et de traitement des minéraux, la métallurgie et le secteur de l'énergie a permis d'améliorer le contrôle des processus et donc de réduire les coûts et les résidus. Les systèmes d'analyse en ligne fondés sur les rayonnements nucléaires — désignés sous le terme générique de systèmes de contrôle nucléaire — sont devenus des outils essentiels dans ce contexte. Offrant le double avantage de permettre d'effectuer des mesures non destructives et de fonctionner même dans des conditions hostiles caractérisées par des températures et des pressions élevées (contrairement aux méthodes classiques), les systèmes de contrôle nucléaire fournissent des informations continues sur les paramètres dont on a besoin pour contrôler la qualité de la production dans une installation industrielle.

Qu'il s'agisse d'effectuer des diagaphies nucléaires pour évaluer la qualité et la complexité des minerais dans les puits de mines, de déterminer la composition de minéraux ou de les traiter, les jauges nucléaires sont devenues des outils indispensables dans la minéralurgie et la métallurgie. L'analyse rapide en ligne de matières de composition variable en temps réel permet de mieux gérer les opérations d'extraction, de traitement et de mélange, et d'accroître le taux de récupération de minéraux recherchés. Un certain nombre de techniques — rayonnements gamma instantanés induits par neutrons, thermalisation neutronique, absorption gamma et fluorescence X induite par isotopes, par exemple — ont ces dernières années révolutionné le fonctionnement et le rendement des installations industrielles.

L'industrie du charbon a été l'un des principaux bénéficiaires de l'utilisation des systèmes de contrôle nucléaire. L'évaluation continue de la teneur en cendres

(minérales) du charbon est un paramètre déterminant tant pour le fournisseur que pour l'utilisateur. Le charbon étant avant tout utilisé pour la production d'électricité, cette information présente un intérêt du point de vue du rendement et de la durée de vie de la chaudière, et de la pollution atmosphérique. Les systèmes de contrôle nucléaire modernes offrent le degré de précision et de fiabilité requis pour fournir de façon continue, en ligne, des informations détaillées sur la teneur totale en cendres, la composition élémentaire et l'état hygrométrique. L'utilisation d'une source de neutrons au californium 252 et de détecteurs gamma permet d'analyser par spectroscopie, en temps réel, les rayons gamma émis par le charbon pour obtenir leur composition élémentaire. Les éléments critiques pour le contrôle du rendement de la chaudière sont l'aluminium, le silicium, le calcium, le fer, le soufre, le chlore, l'azote, le potassium et le titane.

La fabrication des métaux de base et le traitement des minéraux étant le fondement de l'activité industrielle dans tous les pays, le recours accru à cette application technologique de pointe a un impact incontestable. L'Australie par exemple comptait environ 125 jauges nucléaires en 1961 et plus de 12 000 en 1990. Les dispositifs comprennent des jauges de densité, d'épaisseur et d'humidité, des balances courroies, des sondes, des moniteurs de cendres de charbon, des analyseurs en vrac et en ligne, et des unités radiographiques industrielles. Leur accroissement spectaculaire dans l'industrie australienne montre clairement les avantages techniques et économiques que procure leur emploi. En Australie, on estime que les gains de productivité résultant de l'utilisation de jauges nucléaires s'élèvent à plus de 50 millions de dollars des Etats-Unis par an.

Bien que la technologie de base des systèmes de contrôle nucléaire soit bien connue, la littérature technique fait état chaque année d'applications nouvelles et novatrices. Il s'agit notamment de la détermination des cendres de charbon à partir de la radioactivité naturelle des cendres, de la concentration des acides dans l'industrie chimique, de l'ultrapurification des métaux dans l'industrie des semi-conducteurs, et de l'analyse en vrac et en ligne du calcaire brut dans l'industrie du ciment. Des milliers d'analyseurs portatifs par fluorescence X sont actuellement utilisés dans la minéralurgie et la métallurgie pour déterminer les métaux et les déchets d'arrivée, vérifier les alliages sur le chantier, contrôler la qualité, analyser les processus de fusion et de soudage, recenser les déchets dangereux et analyser sur le terrain les sols et les eaux souterraines contaminés.

Diagraphie nucléaire et analyse par activation.

La diagraphie nucléaire est couramment employée dans l'industrie pétrolière. Elle permet de mesurer les horizons pétrolifères potentiels, d'évaluer les réserves de pétrole et de gaz et leur exploitation, et d'analyser les champs pétroliers connus afin d'optimiser les méthodes de récupération du pétrole.

Ainsi, la diffusion des rayons gamma à partir des parois des sondages fournit des informations sur la densité et le numéro atomique moyen des couches rocheuses souterraines. Les mesures par diffusion des neutrons révèlent la taille moyenne des pores des couches rocheuses autour du sondage — plus les pores sont grands, plus les roches peuvent retenir les hydrocarbures. L'étude des interactions des rayons gamma et des neutrons avec les couches rocheuses et minérales pétrolifères demeure un domaine de recherche important. Combinés à d'autres informations géophysiques et géochimiques obtenues par diagraphie et à des études de modélisation, ces travaux permettent de déterminer le rapport quantitatif entre les propriétés des roches pétrolifères et les signaux détectés. Ces paramètres fournissent des informations complètes sur l'environnement souterrain, même à des profondeurs de plusieurs kilomètres.

Une autre technique bien connue — la spectrométrie gamma aéroportée — est largement utilisée pour mettre en évidence des minéralisations uranifères. Elle sert également à détecter d'autres minéraux importants, les minéralisations uranifères étant annoncées par des indicateurs tels que l'or, l'argent, le béryllium, le bismuth, le cobalt, le nickel, le cuivre, le mercure, le molybdène, le niobium, le plomb, l'étain, le zinc, le zirconium et le titane. La technique d'analyse par activation neutronique instrumentale est un outil précieux pour la cartographie géochimique et géologique des horizons minéralisés. La méthode en elle-même n'est pas sensible à la contamination ni aux effets de la matrice et ne requiert aucune préparation approfondie des échantillons. Elle fournit principalement des données sur la concentration de plus de 40 éléments du tableau périodique. Bien que son utilisation à grande échelle ait été freinée dans de nombreux pays où l'on n'a pas facilement accès à un réacteur nucléaire pour l'irradiation des échantillons, elle demeure la méthode préférée pour la prospection de l'or et du platine.

Des outils novateurs

Les techniques faisant appel à l'énergie nucléaire et aux rayonnements sont devenues à bien des égards de précieux outils novateurs. Le transfert de ces techniques dans le cadre des programmes de recherche coordonnée et d'assistance technique de l'AIEA est et demeure capital pour le développement économique de nombreux pays.

L'expérience a montré que l'application optimale et adéquate des techniques faisant appel à l'énergie nucléaire et aux rayonnements présente beaucoup d'avantages pratiques. Les secteurs qui y ont recours ont toutes les chances de se placer dès à présent et pour longtemps au premier rang en termes de productivité industrielle.