

Article n° 3 de la série:
"Que peut attendre l'homme des radioisotopes?"

Application des techniques d'irradiation dans l'industrie

Situation actuelle et perspectives

par Joseph Silverman, Laboratory for Radiation and Polimer Science, University of Maryland, Etats-Unis*.

Si certaines entreprises, leurs produits ou leurs marques sont nommément cités, ceci ne correspond nullement à une approbation ou à une recommandation de la part de l'Agence internationale de l'énergie atomique.

La production d'énergie d'origine nucléaire nous a valu de nombreux sous-produits, entre autres des produits de fission radioactifs. Dans les années environnant 1950 on s'est évertué à mettre au point des procédés industriels faisant largement appel à ces produits de fission. On utilise déjà certains d'entre eux mais en quantités très inférieures à celles qui seront produites dans une économie fondée sur l'énergie nucléaire. Cela ne veut pourtant pas dire que les efforts ont été vains, puisque la recherche de procédés industriels a permis de créer de nouveaux marchés, non pas comme on l'espérait pour les produits de fission, mais pour le radioisotope cobalt-60, produit par capture neutronique dans des réacteurs nucléaires, et pour les accélérateurs (émetteurs de rayonnements dont on peut régler les modalités d'émission.) Il est encore possible de trouver des utilisations pour les principaux produits de fission, les recherches se poursuivant dans les domaines de la radiochimie et de la radiobiologie.

Les applications des rayonnements connaissent actuellement un large essor, car les générateurs de faisceaux d'électrons sont devenus de plus en plus sûrs, le coût unitaire, tant en ce qui concerne la puissance du faisceau d'électrons que son énergie, a fortement baissé, enfin les progrès importants de la radiochimie ont permis de diminuer les doses nécessaires, d'étendre l'expérience et le savoir-faire en génie nucléaire.

Les brillantes perspectives qui s'ouvrent dans ce domaine reposent principalement sur l'espoir de voir encore s'abaisser sensiblement le coût unitaire de l'énergie des faisceaux d'électrons et sur les succès obtenus récemment aux Etats-Unis dans l'utilisation généralisée de l'irradiation pour réticuler les isolants de câbles téléphoniques.

SITUATION ACTUELLE

Actuellement, plus d'une centaine de générateurs de faisceaux d'électrons et environ trente appareils à cobalt-60 sont utilisés couramment dans l'industrie. La valeur commerciale des produits traités ou créés par des méthodes d'irradiation ionisante dépassent largement 200 millions de dollars par an. Voici une liste succincte des différentes applications:

Cet article est extrait d'un discours prononcé devant la Société nordique de recherche et de technologie des radiations, à Helsinki (Finlande).

RADIOSTERILISATION DES FOURNITURES BIOLOGIQUES ET MEDICALES A JETER APRES PREMIER EMPLOI. C'est l'application industrielle la plus ancienne. Elle a été utilisée pour la première fois avec succès en 1956, à une époque où les appareils coutaient 25 000 dollars par kilowatt et où l'énergie des faisceaux d'électrons revenait à 50 dollars par kilowatt/heure. Ce coût unitaire élevé de l'énergie était dû en grande partie au manque de fiabilité de l'accélérateur linéaire van de Graff de 3 MeV et de l'accélérateur linéaire de 4 MeV utilisés initialement dans les applications industrielles. Les produits obtenus présentaient cependant suffisamment de facilités de conditionnement et d'utilisation pour s'attribuer 80% du marché en dépit de leur prix élevé. Ethicon, première entreprise commerciale créée dans ce secteur aux Etats-Unis et sa compagnie mère Johnson & Johnson s'intéressèrent rapidement aux générateurs de rayons gamma dans l'espoir de disposer d'une technique d'irradiation plus simple et plus sûre. Depuis lors, les progrès réalisés par Risø dans les méthodes de radiostérilisation par accélérateur linéaire, les succès obtenus dans l'industrie en créant des services sûrs de radiostérilisation par accélérateur linéaire ainsi que l'amélioration de la technique de ces accélérateurs et l'abaissement des coûts, tout semble indiquer que le rôle du cobalt-60 comme principal instrument de stérilisation par irradiation est fortement remis en cause.

RADIORETICULATION DE POLYMERES — C'est de loin la plus réussie des applications de l'irradiation. A l'échelle industrielle, les techniques de radioréticulation de polyoléfines, destinées à l'isolation de câbles électriques et à la confection de raccords pouvant se contracter sous l'effet de la chaleur, ont été utilisées pour la première fois avec succès par Raychem sur les anciens transformateurs accordés de la General Electric. C'est sur les mêmes appareils et à peu près à la même époque que W.R. Grace est également parvenu pour la première fois à produire son film Cryovac de type L pouvant se contracter à la chaleur. Depuis, les doses nécessaires pour obtenir les modifications voulues ont été réduites d'au moins 50% dans les deux cas et le coût de l'énergie du faisceau d'électrons a diminué de 90%.

Dans le domaine des fils électriques et des câbles, presque tous les fournisseurs importants d'articles à base de polyéthylène ou de chlorure de polyvinyle réticulés offrent un produit irradié dans leur catalogue. Le marché est suffisamment large si bien qu'une compagnie offre actuellement une poudre pour le moulage du PVC spécialement adaptée à la radio-réticulation. La Western Electric Company a lancé la fabrication massive de fil téléphonique radioréticulé; nous reviendrons ultérieurement sur cette production.

Deux autres procédés de réticulation ont pris une grande importance au cours des cinq dernières années: la vulcanisation par irradiation du caoutchouc en feuilles et l'expansion de feuilles de polyéthylène radioréticulé. Le premier procédé est utilisé par Firestone aux Etats-Unis et le deuxième est dû au travail de pionnier de Sekisui Chemical Co. et de Toray Products Co. au Japon, d'Expanded Rubber Products au Royaume-Uni. La production actuelle atteint 5 000 tonnes par an au Japon où Sekisui s'adjuge à peu près les deux-tiers des ventes. Sekisui est en train de doubler sa capacité de traitement par irradiation afin de fabriquer et de commercialiser le produit aux Etats-Unis et en Europe.

Le produit irradié est de loin supérieur à la mousse de polyéthylène non réticulée. Cette dernière présente une texture inégale, à pores relativement ouverts, une surface irrégulière, et ne peut pas être utilisée au delà de 75°C. Le produit irradié, même lorsqu'il est expansé trente fois, possède une surface lisse, des pores uniformes et fermés et une bonne élasticité. Il est utilisé pour revêtir les pare-chocs de la Toyota, doubler le coffre de la Datsun ainsi que les casques de motocyclistes, pour fabriquer des jouets, des jeux, du matériel de camping, des tapis de sol ainsi que pour rembourrer et renforcer des vêtements pour dames. Il peut être appliqué en feuilles sur d'autres matériaux et on lui a trouvé une utilisation pour

l'instant mineure, mais qui peut se révéler prometteuse, en le plaquant sur bois pour obtenir des lames de parquets mieux insonorisés; on peut également l'appliquer directement sur des sols de béton.

Un autre matériau intéressant est le latex prévulcanisé. Des chercheurs français travaillent depuis plus de dix ans à ce procédé et ont mis au point un produit appelé Précurtex. Celui-ci est obtenu en irradiant du latex au moyen d'une faible dose de rayons gamma ou d'électrons. La forme définitive est obtenue en faisant évaporer le sérum à 70°C dans le matériel existant. Le procédé classique exige des températures plus élevées ainsi que l'addition d'agents vulcanisants et accélérateurs.

TISSUS A PLI PERMANENT — Deering-Milliken, dont les fabrications avaient commencé en 1966 avec des tissés de coton, produit maintenant aux Etats-Unis 50 millions de mètres par an de VISA, tissu de coton et de polyester traité "par greffage" radioinduit. Le produit final est un tissu à pli permanent extrêmement facile à nettoyer. Il est vendu principalement aux fabricants d'uniformes, de combinaisons, etc. dont les clients utilisent les services de blanchisserie industriels (hôtels, garages, etc.). Il est obtenu en imprégnant le tissu avec un monomère de vinyle contenant un groupe méthylol et en le soumettant encore humide à une irradiation par électrons. Puis, il est recouvert d'un produit facilitant le nettoyage, probablement un prépolymère à base d'acide acrylique et d'acide méthacrylique. L'irradiation a laissé une quantité suffisante de prises pour le greffage si bien que le prépolymère est chimiquement «cloué» sur le tissu. Celui-ci est envoyé au confectionneur qui le transforme en vêtements. Le vêtement fini reçoit enfin sa forme définitive par pressage à 165°C pendant douze minutes. La réaction de condensation entre le groupe méthylol et la fibre produit les réticulations nécessaires. Ce procédé présente l'avantage supplémentaire de réduire les effluents émis par l'usine puisqu'il dispense du traitement catalysé par chlorure de zinc, nécessaire pour les plissages permanents de type classique.

IRRADIATION DE REVETEMENTS — Presque tous les tableaux de bord fabriqués aux Etats-Unis par la Ford Motor Company sont enduits au pistolet électrostatique et traités par un faisceau d'électrons. D'autres pièces détachées d'automobile, dont le nombre va probablement s'accroître, subissent couramment le même traitement. Malgré les succès remportés par Ford en remplaçant des pièces métalliques par ce produit excellent et peu coûteux, son expérience n'a pas suscité d'imitations satisfaisantes.

Toutefois un certain changement peut être observé depuis 1973. Deux usines sont en projet, l'une en Suisse et l'autre aux Etats-Unis, qui pourront produire annuellement près de 10 millions de mètres carrés de panneaux de bois ainsi revêtus et, on a envisagé en 1973 la construction en Europe de deux autres usines de revêtements irradiés.

Ce regain d'intérêt semble dû au souci d'éviter les problèmes de pollution posés par les traitements thermiques. Pour les revêtements minces et translucides, le traitement aux rayons ultraviolets se révèle remarquablement compétitif. Mais dans le cas des revêtements fortement teintés ou épais, le traitement par électrons peut présenter une nette supériorité.

COMPOSES DE BOIS ET DE PLASTIQUE — Il n'existe pour toutes les applications pratiques qu'un seul producteur, Arco Chemical (Etats-Unis), qui n'offre qu'un seul produit, les lames de parquet. Cette entreprise fabrique environ 300 000 mètres carrés de parquet par an et accroît encore sa capacité d'utilisation de cobalt 60. Arco Chemical enregistre donc des succès modestes certes, mais en progression constante, dans l'application du seul procédé marquant d'irradiation aux rayons gamma à caractère non biologique; il ne semble cependant pas que ce procédé offre beaucoup d'autres possibilités industrielles.

DEGRADATION PAR IRRADIATION – Il y a cinq ans environ, l'Union Carbide Corporation a décidé de commercialiser de l'oxyde de polyéthylène destiné à toute une série d'applications exigeant chacune des masses moléculaires particulières. Au lieu de prévoir différents modes de production adaptés aux différents poids moléculaires requis, l'UCC a décidé de fabriquer dans des conditions uniformes un seul produit de poids moléculaire élevé et de le soumettre ensuite à une dégradation peu coûteuse afin de satisfaire les différentes catégories d'utilisateurs. Cette dégradation devait s'opérer au cours d'une réaction en chaîne induite par des rayons gamma en présence d'oxygène. L'UCC établit les plans d'une installation destinée spécialement à ces opérations d'irradiation et en lança la construction, mais en 1973, l'usine ne fonctionnait pas encore, le marché n'offrant guère de débouchés.

La dégradation par irradiation est aussi exploitée par la Columbia Research Corporation qui loue ses services pour l'utilisation des faisceaux d'électrons. Cette entreprise dégrade des déchets de poudre de moulage de polytétrafluoréthylène (PTFE) en les irradiant à l'air par un faisceau d'électrons. Le produit obtenu sert à faire des lubrifiants à vaporiser. Cette entreprise a réussi de façon surprenante dans ce domaine; presque tous les fabricants de PTFE livrent leurs déchets au faisceau d'électrons de Columbia. C'est néanmoins une application de faible ampleur. La méthode utilisée par Union Carbide Corporation pour fabriquer et dégrader des matériaux pourrait être appliquée de façon beaucoup plus intéressante au polypropylène, dont le volume de vente est très important. Je suis convaincu qu'elle mérite d'être considérée avec beaucoup plus d'attention qu'elle n'en a obtenu jusqu'à présent.

Il existe un autre projet de dégradation par irradiation: il consiste à irradier par électrons des copeaux de bois destinés à être stockés et convertis ensuite en pulpe. Il est bien connu que l'irradiation ionisante détruit les insectes, les champignons et les bactéries et qu'elle dégrade également le bois. En irradiant des copeaux de bois, non seulement on en retarderait la pourriture mais on diminuerait aussi la quantité d'énergie nécessaire pour les convertir en pulpe. Lorsque le coût de l'énergie nécessaire pour obtenir ces avantages sera inférieur au gain que l'on pourra en retirer, l'irradiation deviendra un moyen lucratif et pratique de fabriquer de la pulpe de bois. Radiation Development Co., Ltd. (Canada) a installé deux accélérateurs à l'usine Georgia-Pacific Plywood, située près d'Albany (Oregon) et traite ainsi plus de 10% de la production de cette usine. Actuellement, Georgia-Pacific a rejeté le procédé mis au point par Radiation Development Co., Ltd. car les effets obtenus en laboratoire n'ont pas pu être reproduits en usine. Si l'on parvient à améliorer les résultats, les quelque 2 000 usines de pâte à papier du monde deviendront les utilisateurs potentiels de cette application des rayonnements, qui pourrait être la plus importante de toutes, quelle que soit la mesure utilisée pour en juger (volume de production, nombre de kilowatts ou valeur commerciale du produit).

SYNTHESE CHIMIQUE – C'est une source de déceptions pour tous ceux qui suivent les progrès des traitements par irradiation. Mis à part la production annuelle d'environ 1000 tonnes de bromure d'éthyle par Dow Chemical Company, on n'a pu réaliser à l'échelle industrielle aucun des projets de synthèses chimiques amorcées par irradiation. Seule, une innovation récente laisse présager une évolution favorable. On construit actuellement au Japon une usine de fabrication d'un prépolymère, élément majeur d'une formule de peinture. (A ne pas confondre avec le traitement de la peinture par faisceau d'électrons.) Cet élément de la peinture est produit grâce à une réaction amorcée par irradiation d'électrons; les peintures à base de ce composant pourront être traitées par la chaleur, les ultraviolets ou par irradiation.

Ces morceaux de bois sont traités par irradiation au Centre d'application des rayonnements ionisants CAPRI (France). Photo: Pierre Jahan. ►



DIVERS — La plupart des applications ci-dessus ne s'étendent qu'à des volumes de production relativement faibles. D'autres ont des dimensions encore plus réduites, entre autres: des séparateurs de batterie radiogreffés, un laminé composé d'une feuille métallique et d'une pellicule de polyéthylène avec acide acrilique greffé, des fixations radio-réticulées thermoextensibles, des quartz et des perles irradiés destinés à la bijouterie, etc. Ces applications constituent un certain succès par leur originalité et leur commercialisation, mais aucune d'entre elles probablement ne sera décisive.

WESTERN ELECTRIC — Si l'on examine toute la liste des produits et des procédés, presque toutes les applications actuellement exploitées dans l'industrie sont relativement anciennes et bien connues. Jusqu'à présent, on pourrait conclure à une certaine lenteur dans la découverte de nouvelles utilisations industrielles due à l'état des connaissances et de l'économie ainsi que de la mentalité des dirigeants industriels. Cette conclusion serait toutefois trop pessimiste.

Les changements survenus résultent principalement des décisions et des mesures récentes prises par la Western Electric Co., agent producteur de l'American Telephone and Telegraph Co. En 1973, Western Electric a commencé à fabriquer du fil téléphonique isolé par du PVC radio-réticulé au rythme de $2,7 \times 10^9$ mètres par an. Deux autres chaînes de production ont été commandées et seront installées, ce qui portera la production à 8×10^9 mètres par an. Ce nouveau produit remplacera un produit ancien composé de fil de cuivre entouré d'isolant au PVC, d'un revêtement de tissu et d'un autre de laque. Le nouveau produit est composé d'un fil de cuivre entouré d'un revêtement au PVC-TEGDMA* radio-réticulé, ce qui lui confère de bonnes caractéristiques électriques ainsi qu'une forte résistance à la chaleur du fer à souder, à l'abrasion, aux solvants, aux flammes. La formule se prête à l'extrusion avant irradiation et la suppression du laquage réduit les problèmes de pollution. Le produit est utilisé dans les centraux téléphoniques où il permet de diminuer l'encombrement de 70%. Cette économie justifierait à elle seule l'innovation. Cependant, même en la négligeant, le procédé aurait, paraît-il, permis d'économiser 4 millions de dollars pendant les sept premiers mois de son application.

L'emploi généralisé de cette méthode d'irradiation par Western Electric montre que:

- 1) Des générateurs de faisceaux d'électrons peuvent fonctionner de façon aussi sûre que les extrudeurs de plastique;
- 2) Les techniques d'irradiation relatives à l'utilisation courante des machines sont assez bien connues;
- 3) Le coût de l'énergie des faisceaux d'électrons est faible;
- 4) La radiochimie associée à l'utilisation d'agents réticulants permet de réduire fortement les doses nécessaires. En outre l'agent réticulant confère au produit une partie de ses propriétés mécaniques importantes.

Les bons résultats obtenus par l'application de ce procédé devrait inciter les dirigeants d'autres entreprises à considérer que l'irradiation peut remplacer judicieusement d'autres méthodes concurrentielles lorsque l'étude des coûts se révèle favorable. Jusqu'ici, les avantages financiers perçus en considérant le traitement par irradiation comme une opération industrielle courante ont été des éléments de décision nécessaires mais n'ont pas suffi à convaincre.

* Tetraéthylèneglycol dimétacrylate

AVENIR

Outre les progrès signalés à la Western Electric, deux autres facteurs auront peut-être un effet profond sur l'avenir des traitements par irradiation: l'évolution des coûts et celle des problèmes d'environnement.

Le coût des générateurs de faisceaux d'électrons est généralement inférieur à 4 000 dollars par kW et on prévoit qu'il devrait baisser jusqu'à 2 000 dollars. Un fabricant de générateurs a prétendu que l'énergie des faisceaux d'électrons pourrait être produite à un coût de 0,25 dollar par kWh et un deuxième avance même, pour les appareils actuels, le chiffre de 0,20 dollar par kWh. Ces deux estimations s'appliquent à des générateurs de haute puissance fonctionnant avec deux équipes, et postulent une durée de vie de dix ans pour les appareils. On a toujours considéré avec méfiance les estimations de coûts faites par les fournisseurs d'accélérateurs. Cette attitude prudente est généralement justifiée, mais les améliorations apportées à la conception et aux caractéristiques techniques des appareils ont suivi de très près les surenchères des fournisseurs et les ont même peut-être rattrapées.

PROBLEMES D'ENVIRONNEMENT

A l'appui d'une proposition récente de construction, aux Etats-Unis, d'une usine permettant d'irradier les boues d'eaux usées au taux de 0,1 Mrad, taux qui donnerait, dans la lutte contre l'*Escherichia coli*, les mêmes résultats que la chloruration, on a prétendu pouvoir faire baisser jusqu'à 0,10 dollar par kWh le coût de l'énergie d'irradiation absorbée. Cette proposition incite à utiliser l'irradiation pour résoudre les problèmes d'environnement. On a déjà signalé deux types d'applications: le remplacement par l'irradiation non polluante d'un procédé polluant ne reposant pas sur l'irradiation, et l'utilisation de rayons ionisants pour détruire des substances polluantes. Un exemple du premier type est le traitement des peintures par électrons au lieu du traitement thermique; dans la seconde catégorie, on peut citer le traitement des eaux usées et des déchets industriels.

L'irradiation a été utilisée depuis longtemps mais sans grand succès pour traiter les déchets humains. Les travaux sur lesquels on possède des informations semblent médiocres et certains des succès extravagants qui ont été revendiqués sont difficile à admettre. Il suffit de dire qu'on peut tuer par irradiation la flore microbienne et même (malgré certaines difficultés) les virus, mais il est difficile de déterminer les doses minimales qui entraveront suffisamment la vie microbienne, et on ne peut sans cela effectuer les calculs techniques nécessaires. Une usine pilote pour l'irradiation des boues diluées est en cours de construction près de Munich (République fédérale d'Allemagne); il faut espérer qu'elle permettra d'obtenir des renseignements utiles.*

On a suggéré l'irradiation pour traiter les effluents d'usines textiles en vue de détruire les teintures qui y sont dissoutes. L'irradiation décolore les teintures dans certaines conditions de pH et de concentration de produits oxydants. Il en est de même pour les effluents d'usines contenant des traces de phénol ou de cyanures. L'une des applications les plus intéressantes qui aient été proposées au cours des dernières années est l'irradiation des gaz rejetés par les centrales, qui transformerait SO_2 gazeux en vapeur ou en buée de H_2SO_4 , lesquelles pourraient être captées dans la cuve à précipitation. Les premiers résultats sont très encourageants. On s'intéresse fortement aux travaux effectués actuellement par le Laboratoire Takasaki de l'Institut japonais de l'énergie atomique en collaboration avec Ebara Industrial Co.

* Un colloque international sur "L'emploi des rayonnements de haute intensité pour le traitement des déchets — situation et perspectives" aura lieu à Munich du 17 au 21 mars 1975.

C'est probablement le souci de préserver l'environnement qui déterminera pour une bonne part le rôle futur de l'irradiation ionisante dans le monde industriel. Il ne faut, pour traiter les revêtements par un faisceau d'électrons, que 7% de l'énergie qui serait nécessaire en utilisant un procédé thermique. Il faut beaucoup moins d'énergie pour stériliser les aliments par un faisceau d'électrons ou de rayons gamma que pour les traiter par la chaleur. La rivalité s'accroissant pour la recherche de combustibles propres, le coût de l'énergie pourrait devenir l'élément le plus important du prix de revient. Il faudra analyser en détail l'ensemble des dépenses d'énergie pour déterminer si notre société, mettant l'accent sur une gestion rationnelle de l'énergie, aura avantage à substituer largement les procédés fondés sur les faisceaux d'électrons aux procédés thermiques. C'est sur cette question que je terminerai mon exposé.

L'avenir semble brillant et prometteur. La situation actuelle n'est pas particulièrement mauvaise, mais nous sommes à un moment décisif.

Le phénomène d'Oklo

par Roger Naudet*

Thème d'un colloque international de l'AIEA qui aura lieu du 23 au 27 juin 1975

Au cours de l'été 1972, des chercheurs du Commissariat français à l'énergie atomique ont fait une découverte étonnante: des réactions de fission en chaîne avaient pris naissance spontanément dans un passé très reculé au sein d'un gisement d'uranium du Gabon: certaines portions de ce gisement avaient fonctionné pendant des centaines de milliers d'années comme nos modernes réacteurs nucléaires. Les investigations qui ont suivi ont montré que les foyers de réaction étaient restés dans un état de conservation remarquable, ce qui permet de les étudier en détail.

L'AIEA a estimé que le phénomène d'Oklo pouvait fournir un excellent thème de coopération internationale en matière de recherche fondamentale et a accepté la proposition du Gouvernement gabonais et du Commissariat français à l'énergie atomique d'organiser conjointement un colloque scientifique sur ce sujet. Celui-ci aura lieu du 23 au 27 Juin 1975 à Libreville.

On sait que des deux principaux isotopes de l'uranium, qui sont naturellement radioactifs, le 235 a une période de décroissance plus courte que le 238 (la demi-vie est de 0.71 au lieu de 4,51 milliards d'années). Il en résulte que la teneur de l'uranium en noyaux fissionnels décroît constamment au cours du temps; aux âges géologiques très anciens elle était beaucoup plus élevée qu'aujourd'hui (3.65% il y a deux milliards d'années au lieu de 0.72% maintenant).

* M. Roger Naudet dirige l'exécution du projet "Franceville". Il appartient au Département de physique des réacteurs et de mathématiques appliquées, au C.E.N. de Saclay.