

L'utilisation des rayonnements dans l'industrie

Adolphe CHAPIRO

Les applications industrielles des rayonnements se sont principalement développées au cours des 25 dernières années. Des découvertes nouvelles et la disponibilité de sources de rayonnement de plus en plus puissantes ont conduit à des percées technologiques dans plusieurs secteurs industriels. Hésitantes à leur début, en partie en raison de la frayeur qu'exercent les rayonnements, issus de l'atome, ces applications ont connu une croissance de plus en plus rapide en ce qui concerne le volume des matériaux irradiés mais aussi une diversification vers des secteurs de plus en plus sophistiqués de la technologie moderne. Aujourd'hui, les rayonnements sont d'un usage courant et les équipes compétentes, qui les emploient tous les jours, maîtrisent parfaitement les normes de sécurité, parfois draconiennes, imposées par les organismes de contrôle. Des appareils

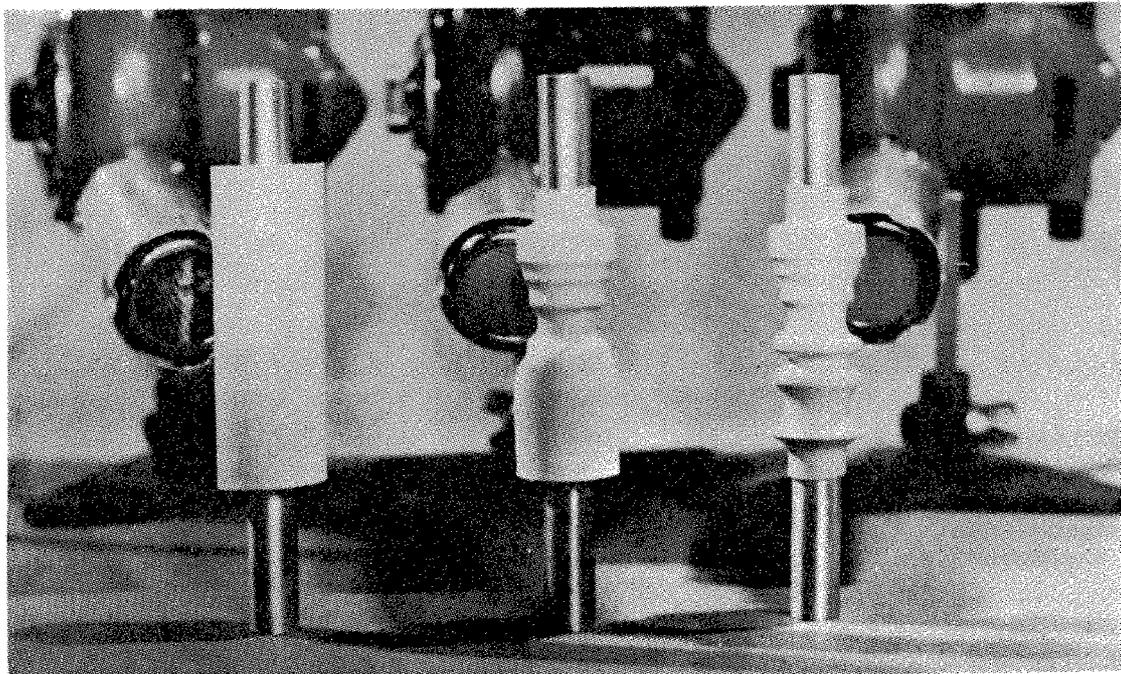


Fig. 1. Gaine retractable. Un tube de polyoléfine est réticulé par irradiation puis étiré à chaud. En refroidissant, il conserve sa forme étirée. Dès qu'il est réchauffé, il reprend son diamètre primitif en formant une enveloppe étanche autour de tout objet emprisonné. Cela est dû à l'effet « mémoire ». (Cliché Raychem.)

fiables de détection et de mesure des rayonnements sont maintenant monnaie courante et les dispositifs automatiques d'escamotage ou d'arrêt des sources de rayonnement font que l'emploi des irradiateurs ne pose pas d'autres problèmes techniques que ceux qui sont inhérents à toute activité industrielle.

En dehors de la "radiographie" et de la "gammagraphie" pour le contrôle des pièces massives, les applications principales des rayonnements se situent dans deux domaines :

- la stérilisation des denrées alimentaires, des produits pharmaceutiques, des fournitures bio-médicales, etc., et
- l'amorçage de réactions chimiques, principalement dans l'industrie des matériaux plastiques et des caoutchoucs.

Les premières observations sur l'effet chimique des radiations ionisantes sont fort anciennes, puisque c'est grâce à une réac-

tion radiochimique, le noircissement des plaques photographiques, que Röntgen découvrait, en 1895, un rayonnement inconnu jusqu'alors, les rayons X, et que Becquerel observait, l'année suivante, la radioactivité d'un minerai d'uranium. Au cours des années qui suivirent, des chercheurs isolés examinaient les modifications introduites par ces rayonnements dans différents systèmes chimiques et jetaient ainsi les bases de cette jeune science qu'est la "chimie sous rayonnements". A la veille de la seconde guerre mondiale, l'intérêt des radiochimistes s'oriente principalement vers l'étude des solutions aqueuses. On cherchait à mieux comprendre les transformations chimiques qui s'opèrent lors de l'irradiation des milieux biologiques, et plus spécialement des tissus normaux et cancéreux. L'avènement de l'"ère atomique" et la création des premières centrales à énergie nucléaire ont entraîné une mutation de la chimie des radiations. En effet, les radiations ionisantes constituent un sous-produit abondant de l'industrie atomique; on a intérêt, pour abaisser le prix de revient du kilowatt-heure nucléaire, à tenter de valoriser ce sous-produit.

Les premières exploitations industrielles, réalisées au cours des années 50, ont porté sur les transformations chimiques des "macromolécules" qui sont à la base des matières plastiques, des caoutchoucs et des fibres artificielles. Les résultats obtenus étaient tellement spectaculaires qu'on ne se préoccupe plus de récupérer les radiations perdues mais, qu'au contraire, on produit des radiations au prix d'une dépense d'énergie supplémentaire avec des accélérateurs d'électrons, des générateurs de rayons X ou des radioisotopes artificiels.

La production des rayonnements utiles

L'industrie emploie soit les rayons gamma, soit les faisceaux d'électrons accélérés.

Les rayons gamma sont émis par de nombreux radioisotopes naturels ou artificiels. Deux de ces isotopes présentent une importan-

ce prépondérante comme sources de rayonnement industrielles : le cobalt-60 et le césium-137. Le premier est obtenu en bombardant le cobalt-59 ordinaire avec des neutrons dans un réacteur nucléaire. Le cobalt-60 émet des rayons gamma très pénétrants d'une énergie de 1,2 et 1,3 MeV (mégaélectron-volts) et sa période radioactive (demi-durée de vie) est de 5,3 ans. Le césium-137 est un des produits de fission de l'uranium-235. Il se forme en quantités importantes dans les réacteurs nucléaires. Cet isotope émet des rayons gamma de 0,6 MeV et possède une période de 33 ans. Des rayonnements électromagnétiques d'énergie comparable ou même supérieure à celle des rayonnements émis par ces radioisotopes peuvent être produits en bombardant une cible de métal lourd par des électrons de grande énergie émis par un accélérateur d'électrons : ce sont les rayons X. Ceux-ci peuvent avoir une pénétration considérable, mais le bilan énergétique de la transformation d'un faisceau d'électrons en faisceau de rayons X est très mauvais, le rendement ne dépassant pas 10 à 15 % dans les conditions les plus favorables.

On peut obtenir des électrons accélérés en employant certains radioisotopes (rayons β), tels que le strontium-90 par exemple. Mais les générateurs d'électrons rapides les plus répandus sont les "accélérateurs". Dans un premier type d'accélérateurs, les électrons sont émis, puis accélérés à l'intérieur d'un tube à vide auquel est appliquée une haute tension, produite soit par une machine électrostatique (à cylindre ou à ruban tournant), soit par un transformateur particulier (transformateur résonnant). Une deuxième catégorie d'accélérateurs est fondée sur l'utilisation des champs électriques intenses qui règnent à l'intérieur des guides d'ondes travaillant aux fréquences radar. De tels "accélérateurs linéaires" émettent des trains d'impulsions d'électrons répétées ayant des durées de l'ordre de la microseconde. Dans tous les cas, les électrons quittent l'enceinte sous vide en traversant une fenêtre métallique. Des dispositifs de balayage permettent d'étirer le faisceau sur une largeur utile pouvant atteindre ou même dépasser un mètre.

Enfin, il existe des accélérateurs dans lesquels les électrons, émis par un long filament de tungstène horizontal, sont directement accélérés et sortent de l'enceinte sous vide sous la forme

d'un "rideau". Ces appareils sont principalement utilisés pour des traitements de surface.

Transformations chimiques des macromolécules

Schématiquement on peut considérer les macromolécules comme de longs filaments dont l'enchevêtrement confère aux matériaux qui en sont constitués des propriétés particulières. La qualité de ces matériaux dépend dans une large mesure de la nature chimique de ces macromolécules. C'est ainsi que le polyéthylène, matière plastique bien connue, est constitué de macromolécules paraffiniques et ses propriétés sont celles d'une paraffine de haut poids moléculaire. Des matériaux comme le PVC, le polystyrène ou le plexiglas sont plus durs en raison d'une structure "vitreuse", analogue à celle des verres minéraux. Le caoutchouc naturel et les différents caoutchoucs synthétiques sont formés de macromolécules flexibles qui donnent à ces ma-

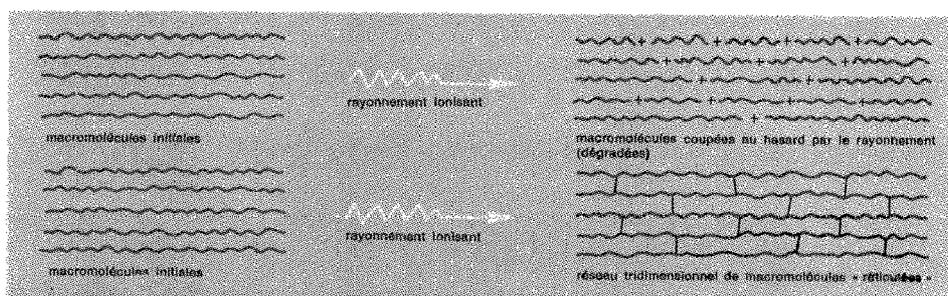


Fig. 2. Les macromolécules d'un polymère soumis à une irradiation subissent, selon leur structure, soit une **dégradation radiochimique** (coupures au hasard en de plus petites molécules, en haut) ; soit une **réticulation radiochimique** (établissant de nouvelles liaisons, ou ponts, entre les macromolécules initiales, en bas). Le matériau résultant a souvent des propriétés intéressantes, différentes de celles qui constituent les polymères d'origine.

tériaux leur "élasticité caoutchoutique". En réalité cette propriété essentielle du caoutchouc n'existe pas dans la gomme initiale. Elle n'apparaît que lorsqu'on "vulcanise" le caoutchouc. Le nom de ce traitement, dérivé de celui de la divinité du feu, Vulcain, vient de ce qu'il met en jeu le chauffage de ces macromolécules en présence de soufre. Il se forme ainsi une nouvelle structure dans laquelle les

macromolécules sont liées entre elles par des ponts de soufre et l'ensemble constitue une sorte de filet géant à trois dimensions.

La vulcanisation du caoutchouc a été découverte au 19e siècle et a connu de nombreux perfectionnements qui permettent de réaliser aujourd'hui des pneus d'automobiles d'une fiabilité remarquable.

irradiation-réticulation

Or, la simple irradiation de certaines macromolécules permet une "réticulation" semblable.

La réticulation radiochimique du polyéthylène a été découverte en 1952. L'irradiation d'un objet en polyéthylène conduit à un matériau nouveau, qui ne fond plus à la température de fusion habituelle du polyéthylène, soit 115-120°C, ce qui permet de le stériliser par la vapeur à 120°. Mais l'application la plus séduisante de ce procédé, qui a abouti aux réalisations les plus nombreuses, est l'irradiation des fils électriques et des cables dont l'isolant (polyé-

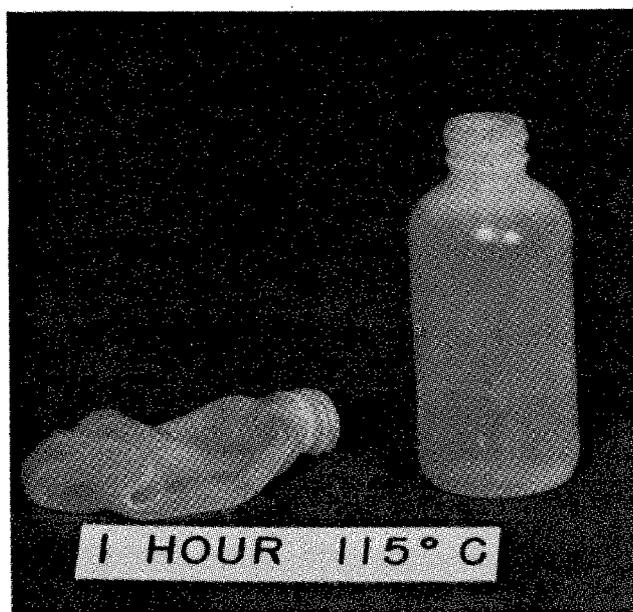


Fig. 3. Résistance à la température d'objets de polyéthylène normal et de polyéthylène réticulé par irradiation. La bouteille en polyéthylène normal fond à 115°. La bouteille réticulée ne peut fondre, ce qui permet de la stériliser à 125°. (Cliché General Electric.)

thylène) acquiert ainsi une bonne tenue aux températures élevées et une fiabilité accrue en usage intensif.

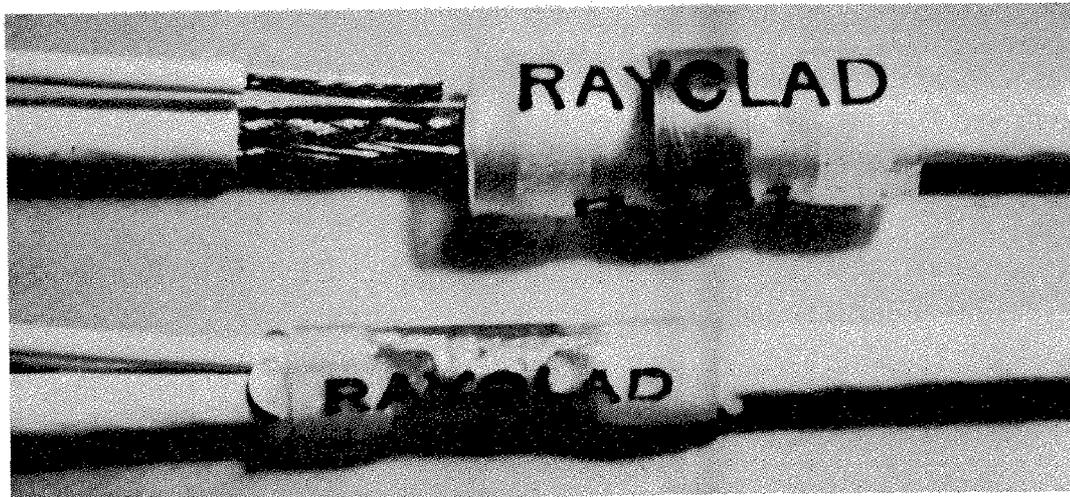
Des isolants autres que le polyéthylène sont aujourd'hui réticulés par irradiation. Il en est ainsi du PVC, de différents caoutchoucs et de certaines résines fluorées. Malgré la multiplication de ces fabrications le client moyen ne sait pas, lorsqu'il s'installe confortablement dans le siège d'un avion, qu'il arrive à destination avec une sécurité accrue grâce à l'emploi, dans les circuits électriques de l'appareil, de centaines de kilomètres de fils isolés, réticulés par irradiation, d'une très grande fiabilité. De gros volumes de fils et câbles irradiés servent dans le matériel de transport, tels que motrices électriques, mais aussi camions et automobiles modernes.

Des dispositifs beaucoup plus sophistiqués, construits avec des matériaux réticulés par irradiation, sont d'un emploi courant en télécommunication, dans les centraux téléphoniques, les lignes de haute tension, les ordinateurs mais aussi dans certains appareils électroménagers.

irradiation-greffage

Le "greffage" des macromolécules est une technique mettant en jeu une transformation plus profonde des matériaux macromoléculaires. Pour cela on ajoute au matériau de départ un réactif chimique, le plus souvent un "monomère" polymérisable, qui formera après irradiation des "branches" greffées sur la "macromolécule tronc". Le matériau résultant est un alliage constitué de deux macromolécules différentes et possède de ce fait des propriétés nouvelles. C'est ainsi que le greffage de l'acide acrylique sur le polyéthylène transforme ce matériau paraffinique en un excellent adhésif sur métaux (produit commercialisé par Total-Chimie). Des membranes permselectives sont préparées par greffage radiochimique de monomères hydrophiles dans différents films plastiques. Ces membranes sont utilisées comme sépa-

Fig. 4. **Éléments autosoudeurs.** Un élément autosoudeur de tube réticulé étiré à chaud renferme dans son centre une bague de soudure et à chacune de ses extrémités une bague de polymère non réticulé. Après avoir introduit les deux conducteurs à assembler dans cet élément, on le chauffe. Le chauffage produit trois effets : la bague soude les deux conducteurs ; l'élément de tube irradié se rétracte ; les deux bagues de plastique fondent et assurent l'étanchéité de l'ensemble. (Cliché Raychem).



rateurs d'électrodes dans les batteries alcalines et dans les piles électriques miniaturisées, mais trouvent aussi des applications dans différents procédés de fractionnement industriels. Enfin, des dispositifs à usage bio-médical sont fabriqués par des méthodes radiochimiques qui permettent d'opérer dans des conditions de propreté et d'asepsie inconnues dans les procédés chimiques classiques.

irradiation-durcissement-séchage

Une autre technique industrielle faisant appel à l'irradiation est le "durcissement" ou "séchage" des peintures et vernis. Pour cela des formulations, exemptes de solvants, et renfermant des réactifs polymérisables, sont déposées sur la surface à traiter (bois, métal, plastique, papier) puis soumises à un faisceau d'électrons accélérés. Cette technologie, qui n'exige qu'une pénétration du rayonnement dans des couches de faible épaisseur, utilise des accélérateurs d'électrons d'énergie modérée, dans la gamme de 200 à 500 KV. Ces rayonnements sont totalement absorbés par des toles métalliques de faible épaisseur et les appareils sont le plus souvent "auto-protégés", l'opérateur pouvant se trouver sans aucun risque au voisinage immédiat de l'appareil en fonctionnement. Les installations utilisant ces procédés se

multiplient rapidement et conduisent à des applications très diverses. En dehors du séchage des peintures et vernis, ces appareils servent à réticuler des films et fils isolés de faible épaisseur, à sécher des encres et adhésifs, à durcir des dépôts de formulations magnétiques sur bandes ou disquettes, etc. L'intérêt de ces procédés est qu'ils permettent l'emploi de réactifs sans solvants, donc sans aucune pollution de l'atmosphère, mais ils permettent également d'opérer à des vitesses très élevées, à la température ambiante ce qui réduit notablement la surface au sol des installations, améliore la qualité de la production, conduit à des économies d'énergie très importantes et, par voie de conséquence, diminue le coût du traitement.

Des installations d'irradiation existent aujourd'hui dans tous les pays industriels mais aussi dans de nombreux pays du Tiers-Monde. L'auteur a effectué en 1986 une mission d'inspection dans le Sud-Est asiatique pour le compte des Nations Unies (Agence Internationale de l'Energie Atomique) et a pu ainsi visiter des irradiateurs industriels en Chine, en Corée du Sud, en Inde, en Indonésie et en Thaïlande. Ces installations servent principalement à la désinfection de produits alimentaires et la stérilisation de produits pharmaceutiques et de fournitures médicales en matériaux plastiques. Cette méthode s'applique à des produits en emballages plastiques scellés et offre de ce fait des garanties supérieures à la stérilisation par l'oxyde d'éthylène, gaz hautement toxique, qu'il faut soigneusement éliminer après le traitement. L'irradiation des fruits, légumes, épices et de certaines viandes élimine des parasites (la destruction des microorganismes et des parasites par irradiation résulte d'une transformation chimique de certaines substances nécessaires à la vie) et permet une meilleure conservation de ces denrées et leur exportation à grandes distances avec beaucoup moins de pertes et sans dépense supplémentaire d'énergie (pour la réfrigération). Cela explique la multiplication de ces installations dans le Tiers-Monde. Mais des opérations techniquement plus sophistiquées, telles que la réticulation des isolants de fils et cables ou le durcissement de revêtements, se développent également pour le plus grand bien de la croissance économique de ces pays qui en ont le plus grand besoin.

Le chiffre d'affaire mondial des matériaux plastiques irradiés était, en 1982, de trois millions de dollars. Ce chiffre a probablement doublé aujourd'hui, mais il est difficile de recueillir des informations actualisées sur ce point en raison de la multiplication des installations dans le monde et de la diversité des activités d'irradiation.

Pour conclure, je voudrais insister sur le fait qu'à l'heure actuelle les installations industrielles utilisant l'irradiation représentent une technologie bien établie. De nombreux produits irradiés nous entourent et, pour calmer certaines inquiétudes, je ne peux qu'affirmer avec force que ces produits ne présentent aucune radioactivité induite. Les rayonnements produisent des transformations chimiques au même titre que la chaleur, la lumière et l'électricité en transférant aux molécules l'énergie dont elles ont besoin pour réagir. Mais, lorsque les substances ont quitté le faisceau de rayonnement, ou le four, ou le champ électrique elles ne conservent aucune trace du traitement qu'elles ont subi.

Adolphe CHAPIRO
Directeur de Recherches au CNRS