

LES SOURCES DE RAYONNEMENTS INTENSES DANS L'INDUSTRIE

Les transformations chimiques et physiques provoquées par des champs intenses de rayonnements de grande énergie ont parfois leur utilité. Une conférence de l'AIEA réunie à Salzbourg (Autriche), du 27 au 31 mai, a permis aux participants de se rendre compte des progrès accomplis dans ce domaine depuis la dernière conférence sur un sujet analogue que l'AIEA avait organisée à Varsovie, en 1959. La plupart des mémoires présentés à la Conférence de Salzbourg étaient consacrés à des recherches sur la polymérisation, la synthèse chimique, la catalyse chimique et la vulcanisation du caoutchouc. L'un d'eux exposait la méthode utilisée par une grosse société américaine de produits chimiques pour la fabrication industrielle d'un certain produit, dans laquelle le rayonnement intervenait comme catalyseur. Plusieurs autres mémoires décrivaient des installations servant à la stérilisation de produits commerciaux. Si l'on ajoute ces nouveaux procédés à ceux qui ont déjà été signalés, on constate que les sources de rayonnements intenses jouent un rôle important dans l'industrie.

Polymères, synthèses, catalyseurs

La plupart des mémoires présentés à Salzbourg traitaient de la polymérisation (réunion de plusieurs molécules simples d'éthylène, par exemple, appelées "monomères", pour former des polymères plastiques, tels que le polyéthylène) ou de la synthèse (formation de nouveaux produits chimiques sous l'action de rayonnements). Parmi les polymérisations actuellement à l'étude, citons notamment les combinaisons dans lesquelles des bois ou des textiles sont imprégnés de monomères - ordinairement à l'état liquide - qui sont ensuite polymérisés par irradiation. Les produits obtenus retiennent certaines propriétés de la substance naturelle, auxquelles s'allient certaines caractéristiques des matières plastiques modernes. Plusieurs autres mémoires rendaient compte de travaux relatifs à la cinétique de la polymérisation et à divers procédés de greffage destinés à fixer des molécules monomères sur des polymères déjà formés.

Deux mémoires signalaient des résultats intéressants obtenus dans la fabrication de l'hydrazine - produit utilisé comme combustible pour la propulsion des fusées - par irradiation de l'ammoniac. Deux autres exposés traitaient de la fixation de l'azote. Parmi les autres synthèses que l'on étudie à l'heure actuelle, il faut mentionner la formation de composés présentant un intérêt biologique.

Les catalyseurs chimiques ne cessent de poser des problèmes aux chimistes; il est très difficile d'expliquer comment ils agissent. Avec l'aide des rayonnements, les chimistes espèrent répondre aux trois questions suivantes : Comment agissent les catalyseurs ? Peut-on accroître leur activité en irradiant le système au cours de la réaction ? Est-il possible de modifier cette activité en irradiant le catalyseur avant son introduction dans un système chimique ? Quatre mémoires présentés à Salzbourg relataient des études sur les catalyseurs.

Les rayonnements et la fabrication de produits chimiques

Un procédé de fabrication du bromure d'éthyle (produit très répandu en médecine et dans l'industrie) où les rayonnements interviennent comme catalyseur a été mis au point au cours d'expériences préliminaires et d'essais dans une installation pilote; il est maintenant appliqué, industriellement, depuis le mois de mars dernier, par la société américaine de produits chimiques dont il a été question plus haut. D'après M. D. E. Harmer, qui en a parlé à Salzbourg, ce procédé a entièrement remplacé la méthode de production du bromure d'éthyle que cette société utilisait auparavant et permet de fabriquer annuellement environ 450 tonnes de ce produit.

L'opération repose sur une réaction chimique extrêmement simple. On mélange deux courants gazeux, l'un d'acide bromhydrique et l'autre d'éthylène, que l'on fait déboucher au fond d'une cuve remplie de bromure d'éthyle, produit liquide final. Les bulles ne parviennent jamais à la surface, car, sous l'effet des rayons gamma émis par 1 800 curies de cobalt-60 à l'intérieur de la cuve, les deux gaz se combinent pour donner du bromure d'éthyle, avec un rendement qui peut atteindre 99 % et sans formation de sous-produits.

Le bromure d'éthyle liquide est soumis à une circulation et à un refroidissement continu; le trop-plein recueilli constitue le produit final.

Les premières expériences, qui ont abouti au procédé actuel, ont été faites avec un ballon d'un demi-litre, entouré de radiocobalt (cobalt-60). Les courants gazeux pouvaient être introduits par le fond du récipient, une vanne permettant aux expérimentateurs de passer rapidement d'un système de circulation à l'autre. L'un des systèmes amenait les deux

courants séparément; l'autre les mélangeait d'abord et introduisait dans le ballon un courant unique. On avait le choix entre divers solvants pour remplir le ballon et l'expérience pouvait se faire à des températures différentes.

Fort heureusement, il se trouve que le produit lui-même est le meilleur solvant. Dans des conditions idéales, à une température de -10°C , avec un débit d'acide bromhydrique de 1,2 g/min, un débit d'éthylène de 0,40 g/min et une intensité de rayonnement de 254 kilorads*/heure, l'expérience préliminaire donnait un rendement de 96 %.

Les expérimentateurs furent d'abord très étonnés de constater que, chaque fois qu'ils commençaient l'opération, il leur fallait attendre trois heures avant que la réaction chimique se déclenche. Ils en trouvèrent l'explication dans le fait que des impuretés à l'état de traces étaient présentes dans le bromure d'éthyle obtenu par d'autres procédés. Par contre, le bromure d'éthyle obtenu par irradiation ne contient aucune impureté et la réaction n'est pas retardée.

Du point de vue commercial, le procédé présente de nombreux avantages : il est simple, permet d'obtenir un produit sans impuretés et ne donne pas de sous-produits. (Un autre procédé que l'on emploie quelquefois transforme une grande partie de la matière première en eau qui est éliminée.) En outre, le procédé est peu coûteux. La source de 1 800 curies de cobalt-60 - dont la période est de 5,2 années - peut être reconstituée moyennant environ 360 dollars par an. Du point de vue de la sécurité, le procédé présente peu de risques. La source de rayonnements est conservée sous terre dans un récipient hermétiquement clos et le courant d'écoulement du produit ainsi qu'un courant spécial de purge constitué par de l'azote sont constamment surveillés afin de s'assurer qu'il n'y a pas de fuites de radioactivité ou de gaz d'alimentation.

Les rayonnements tuent les microbes

Utilisés comme agents de stérilisation, les rayonnements présentent de gros avantages par rapport à leurs deux principaux concurrents, la chaleur et les gaz. Ces trois agents peuvent, en effet, anéantir des micro-organismes nocifs. Mais, en tuant les microbes, la chaleur risque de séparer les composés chimiques et de dégrader les propriétés mécaniques des fibres et des plastiques. Les électrons rapides et les rayons gamma, eux, tuent les micro-organismes sans échauffement. Dans la plupart des cas, les rayonnements causent moins de dommages au produit que la chaleur.

* Le rad est l'unité de dose absorbée correspondant à une énergie de 100 ergs par gramme de matière. Pour les rayons X et les rayons gamma, un rad est approximativement égal à un roentgen.

La stérilisation par un gaz est difficile à réaliser parce que le gaz doit passer par des orifices pour atteindre toutes les parties des objets à stériliser. En revanche, comme les rayonnements pénètrent les emballages, ils peuvent servir à stériliser des objets hermétiquement emballés et emballés, en vue du transport, dans du papier, du métal, du plastique ou du verre. De cette manière, l'utilisateur n'éprouve pas de difficultés à prévenir la contamination après stérilisation.

Les mémoires présentés à Salzbourg témoignent de l'intérêt soutenu que suscite l'emploi des rayonnements pour stériliser. La première installation industrielle entièrement automatique de stérilisation par les rayonnements est exploitée à Slough (Angleterre). Elle est équipée d'une source de 50 000 curies de cobalt-60 et conçue de telle sorte que la source peut être décuplée le cas échéant.

Les objets à stériliser (pour la plupart des seringues non récupérables) sont emballés dans des boîtes de 34 x 28 x 21 cm et placés sur un convoyeur monorail qui les fait passer deux fois devant la source. Chaque chariot peut transporter huit boîtes en deux lots de quatre. Au point de chargement, quatre boîtes sont introduites dans le chariot par le bas, expulsant ainsi quatre boîtes entièrement stérilisées par le haut. Le chariot passe ensuite avec ses deux lots dans le champ d'irradiation et revient vers le point de chargement. Un nouveau lot de quatre boîtes est chargé par le bas; les boîtes en première position (inférieure), déjà passées dans le champ d'irradiation, sont poussées vers le haut en deuxième position (supérieure); les boîtes en deuxième position, entièrement stérilisées, sont déchargées; le chariot passe à nouveau devant la source de rayonnements, et ainsi de suite, de sorte que chaque lot passe deux fois dans le champ d'irradiation, une fois en première position sur le chariot, une fois en deuxième position.

A l'inverse d'autres installations de stérilisation, qui sont protégées le plus souvent par un écran d'eau, l'installation de Slough n'a qu'une protection à sec. La source est constituée par des barres de cobalt montées dans des tubes horizontaux. Le chargement et le déchargement s'opèrent en faisant descendre le porte-source dans une fosse où chaque tube peut être mis en regard d'un autre tube qui traverse l'écran de protection. Il suffit alors d'ouvrir un obturateur pour insérer ou retirer les barres radioactives.

La société qui exploite l'installation de Slough a déjà procédé, dans une filiale américaine, à des premières expériences de stérilisation de fils de suture par irradiation électronique; elle envisage également d'autres applications de la stérilisation par les rayonnements. On pourrait, par exemple, rem-

plir les seringues non récupérables avant stérilisation et stériliser en même temps seringue et contenu.

Un autre mémoire présenté à Salzbourg exposait les enseignements tirés de l'exploitation d'une installation de stérilisation de fils de suture située à Edimbourg (Ecosse). Cette installation, qui fonctionne depuis le début de l'année, est équipée d'une source de cobalt-60 de 40 000 curies.

Le Centre de recherches nucléaires de Saluggia (Italie) s'est attaqué à un autre problème de stérilisation; il s'agit de mettre au point un procédé qui ne cause pas d'altérations chimiques du produit. Les travaux portent sur le sel sodique d'un composé organique complexe utilisé pour le traitement de certaines affections tuberculeuses. Il est malaisé de stériliser le produit par les moyens classiques. Des essais sont en cours pour déterminer l'efficacité de la stérilisation par le rayonnement gamma d'une source de cobalt-60, et étudier la tolérance biologique d'animaux de laboratoire au produit ainsi stérilisé.

L'irradiation vulcanise le caoutchouc

Les fabricants de caoutchouc et de ses produits de remplacement synthétiques (ou élastomères) étudient la possibilité d'utiliser les rayonnements pour remplacer les procédés habituels de vulcanisation. Dans le procédé actuel, on ajoute une substance, du soufre par exemple, aux molécules en chaîne linéaire du caoutchouc; par réaction chimique entre la matière de base et la substance ajoutée, ou "charge", il se forme des liaisons transversales qui transforment en une substance solide le liquide ou le semi-solide épais et collant qu'est le produit initial. Le principal inconvénient de ce procédé est que les liaisons formées par l'additif sont généralement faibles dans le produit final. L'irradiation permet par contre de créer des liaisons transversales plus fortes entre les molécules mêmes du caoutchouc.

Deux mémoires présentés par des savants soviétiques et français faisaient état de travaux visant à améliorer la vulcanisation, ou "cuisson", du latex. La méthode utilisée en France consiste à irradier d'abord le latex à l'aide d'un accélérateur d'électrons de 1,5 MeV d'énergie et de 15 kW de puissance, et à ajouter ensuite une charge. Les fragments moléculaires chargés électriquement, connus sous le nom de "radicaux libres", qui se forment dans le latex à la suite de l'irradiation, peuvent déclencher des réactions chimiques permettant d'obtenir par la suite un produit à liaisons transversales. Les auteurs, MM. A. Lamm et G. Lamm, ont expliqué qu'ils peuvent, de cette façon, produire des pellicules de latex différentes de celles que l'on obtient par vulcanisation chimique, et généralement meilleures.

M. V. L. Karpov et ses collaborateurs (URSS) ont fait une communication concernant des travaux

analogues qu'ils ont entrepris, lesquels ont consisté à soumettre du latex à une vulcanisation radiochimique, sans charge, pour étudier ensuite, en détail, les modifications chimiques et physiques intervenues. Celles-ci dépendent en grande partie de la composition chimique du caoutchouc et de son origine. Le caoutchouc qui a subi une vulcanisation radiochimique a des propriétés de vieillissement différentes de celles du caoutchouc produit par les méthodes classiques et possède une plus grande stabilité que ce dernier.

Lors des travaux visant uniquement à élucider le phénomène de vulcanisation radiochimique et la manière dont il se produit, A. S. Kuzminsky, T. S. Fedeseeva et V. F. Chertkova ont utilisé des techniques d'analyse électronique récemment mises au point pour étudier le comportement des radicaux libres qui se forment par irradiation. Ils cherchent en particulier à déterminer les phénomènes qui se produisent lorsqu'on provoque par irradiation la réticulation des chaînes moléculaires d'un caoutchouc déjà vulcanisé au soufre, traitement par lequel on obtient vraisemblablement le maximum d'amélioration des propriétés physico-mécaniques du caoutchouc. A cette fin, ils irradient le produit à basse température et observent ensuite le comportement des radicaux libres à mesure que l'on chauffe l'échantillon. On constate qu'après la formation d'un réseau à trois dimensions, la mobilité des radicaux libres et, partant, leur taux de recombinaison diminuent considérablement.

Au Laboratoire de Wantage (Angleterre), MM. S. M. Miller, M. W. Spindler et R. L. Vale s'en sont pris directement au principal inconvénient de la vulcanisation radiochimique, savoir son coût élevé. Ils ont cherché des substances qui puissent servir de sensibilisateurs permettant de réduire la dose de rayonnements nécessaire. Ils ont découvert de tels sensibilisateurs qui, grâce à un phénomène de réaction en chaîne au cours duquel les matières nécessaires à la réaction se renouvellent par la réaction elle-même, permettent de ramener la dose requise de 40 à 50 mégarads à une dose de 3 à 5 mégarads.

Caractéristiques à donner aux sources de rayonnements

Pour qu'un procédé d'irradiation soit utilisable commercialement, il faut que la source soit à la fois peu coûteuse, sûre et efficace. L'idéal serait d'utiliser un réacteur nucléaire qui produit des quantités de rayonnements considérables généralement inutilisées. La difficulté est que des neutrons se trouvent le plus souvent mélangés aux rayons gamma dont on a besoin et risquent de rendre le produit lui-même radioactif.

MM. Yu. S. Ryabukhin, A. Kh. Breger et leurs collaborateurs ont essayé, à Moscou, d'utiliser des

réacteurs pour l'irradiation. Ils ont décrit les progrès récemment accomplis grâce à l'utilisation de boucles d'irradiation : un fluide circule à travers un réacteur et devient ainsi radioactif, puis il passe dans une cellule d'irradiation où les rayons gamma qu'il émet sont utilisés aux fins de traitement. Les neutrons demeurent dans le réacteur et n'affectent pas le produit final. Trois boucles de ce genre sont déjà en service en URSS. La première, installée en 1960 à l'Académie des sciences de Géorgie, contient un alliage d'indium et de gallium. Les deux autres utilisent un alliage d'indium, de gallium et d'étain et se trouvent à l'Institut de l'énergie atomique de Moscou et à l'Académie des sciences de Lettonie.

En Roumanie, M. S. Ionesco et ses collaborateurs ont expérimenté une autre méthode d'utilisation

d'un réacteur comme source de rayonnements, qui consiste à faire passer du méthane sur du carbonate de lithium, où la capture d'un neutron par l'isotope lithium-6 entraîne la fission du noyau de lithium avec émission de particules alpha énergiques (noyau d'atome d'hélium) et un triton énergique (noyau d'atome de tritium). D'autres mémoires décrivaient les efforts qui continuent d'être déployés à Los Alamos et à Brookhaven pour utiliser les fragments de fission provenant directement du combustible d'un réacteur pour irradier des produits. Ces fragments produits par la fission ont une très grande énergie et de fortes charges électriques. Le problème consiste à trouver une forme de combustible - poudre ou fibre - d'où les fragments puissent s'échapper pour irradier le produit à traiter.