Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 89 (1963)

Heft: 5

Artikel: Les efforts pour la recherche et le développement de l'application industrielle des radio-isotopes en France

Autor: Vidal, Pierre

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-66296

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

89e année Lausanne, 9 mars 1963 N° 5

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

ORGANE OFFICIEL
de la Société suisse des ingénieurs et des architectes
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.)
de la Section genevoise de la S.I.A.
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne)
et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole polytechnique fédérale de Zurich)

COMITÉ DE PATRONAGE
Président: † J. Calame, ing. à Genève
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève
Membres:
Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.
Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Grosgurin, arch.; E. Martin, arch. J.-C. Ott, ing.
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Guye, ing.
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.; M. Renaud, ing.; J.-P. Vouga, arch.

CONSEIL D'ADMINISTRATION
de la Société anonyme du « Bulletin technique »
Président: D. Bonnard, ing.
Membres: Ed. Bourquin, ing.; G. Bovet, ing.; M. Bridel; J. Favre, arch.; A. Robert, ing.; J.-P. Stucky, ing.
Adresse: Avenue de la Gare 10, Lausanne

RÉDACTION
D. Bonnard, E. Schnitzler, S. Rieben, ingénieurs; M. Bevilacqua, architecte
Rédaction et Editions de la S.A. du « Bulletin technique »
Tirés à part, renseignements
Avenue de Cour 27, Lausanne

ABONNEMENTS

1 an	Suisse	Fr. 34.—	Etranger	Fr. 38.—
Sociétaires	»	» 28.—	»	» 34.—
Prix du numéro . . .	»	» 1.60		

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande », N° II 57 75, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au numéro, changements d'adresse, expédition, etc., à : Imprimerie La Concorde, Terreaux 29, Lausanne

ANNONCES
Tarif des annonces:

1/1 page	Fr. 350.—
1/2 »	» 180.—
1/4 »	» 93.—
1/8 »	» 46.—

Adresse: Annonces Suisses S.A.
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. Lausanne et succursales

SOMMAIRE

Les efforts pour la recherche et le développement de l'application industrielle des radio-isotopes en France, par Pierre Vidal, président du Centre lyonnais d'applications atomiques, gérant du Conservatome.
Sur le calcul des déformations en hyperstatique spatiale, par A. Ansermet, ing.-prof.
Société vaudoise des ingénieurs et des architectes : Rapport d'activité 1962.
Nécrologie. — Divers. — Bibliographie. — Documentation générale. — Nouveautés, informations diverses.

LES EFFORTS POUR LA RECHERCHE ET LE DÉVELOPPEMENT DE L'APPLICATION INDUSTRIELLE DES RADIO-ISOTOPES EN FRANCE

par PIERRE VIDAL, président du Centre lyonnais d'applications atomiques ; gérant de Conservatome.

Avant-propos

L'énergie atomique s'est révélée à la masse des hommes par les destructions opérées par les premières bombes atomiques. Elle a provoqué et elle provoque chez beaucoup de gens un sentiment de peur. Les puissances immenses qu'elle révèle et ses possibilités de toutes natures font apparaître maintenant que l'énergie atomique sera un puissant moyen de prospérité pacifique.

Dans les vastes et nombreux domaines, pour ainsi dire tous, que l'énergie atomique touche, il convient de relever une branche, celle de l'utilisation des différents rayonnements et en particulier des radio-isotopes, qui doit avoir des applications innombrables dans les divers secteurs de l'activité humaine. Bien que cette branche ne se révèle pas toujours par des manifestations spectaculaires comme la production de bombes ou d'énergie électrique, elle sera une des branches principales de l'utilisation des connaissances de ce qu'il est convenu d'appeler communément l'« énergie atomique ».

Nous adressant à un auditoire de spécialistes, nous ne nous étendrons pas sur ce qu'est un radio-isotope, sa production, les rayonnements, ce qu'ils sont et leurs productions. Cela nous entraînerait trop loin et la vulgarisation donne toutes informations à ce sujet.

Nous nous étendrons principalement sur l'utilisation des radio-isotopes, et par voie de conséquence de l'action ou de l'utilisation de leurs rayonnements. Notre but est de vous faire apercevoir leur intérêt dans le commerce, l'industrie et l'agriculture dans un avenir plus ou moins rapproché et d'établir un tour d'horizon du problème en France.

Il convient de faire avant un peu d'histoire. En 1939, la France était le pays le plus en avance au point de vue « énergie nucléaire ».

Joliot-Curie et ses collaborateurs avaient breveté l'essentiel de la fission atomique et ainsi donnaient les

[1] Texte d'une conférence présentée par l'auteur, à Berne, lors de l'Assemblée générale annuelle 1962 de l'**Association suisse pour l'énergie atomique.**

bases des bombes atomiques, de même le principe des réacteurs « Breeder » était exposé.

Vous connaissez tous ce qu'il advint en 1939, le voyage du stock d'eau lourde français, la dispersion des chercheurs français en Angleterre, au Canada, aux USA, et d'autres continuant leur travail dans l'ombre, en France.

En 1945, la France partait à zéro et quelques années plus tard, le premier réacteur « Zoé » était mis en route.

Les utilisations des radio-isotopes artificiels étaient peu développées et les premières recherches sur l'utilisation des rayonnements furent effectuées avec des rayonnements produits par des accélérateurs. Différents radio-éléments artificiels furent produits par les USA et la Grande-Bretagne, mais c'est seulement vers 1953-1954 que cette production démarra en France.

Le champ d'utilisation des radio-éléments étant très vaste, qu'il s'agisse des sciences historiques, astronomiques, physiques, biologiques, géologiques, etc., nous pensons que le mode le plus facile est de les ranger en deux groupes. Comme tout classement, il est un peu arbitraire, mais dans l'ensemble il doit bien séparer les utilisations.

* 1. *Les radio-isotopes et les rayonnements ionisants comme instruments de recherche, de contrôle*

Dans ce groupe, nous trouvons les applications jauge d'épaisseur et de niveau, la gammagraphie, les traceurs, l'analyse par activation, le contrôle sous toutes ses formes (détections, niveaux, etc.), le repérage des objets, l'ionisation, le marquage dans la génétique, etc.

* 2. *Les radio-isotopes et les rayonnements ionisants comme instruments de production*

Dans ce groupe, nous trouvons l'utilisation en radiothérapie, en radiochimie, la vulcanisation du caoutchouc, polymérisation radiochimique, dans la stérilisation de toutes matières et tous produits, la conservation des denrées agricoles et alimentaires, etc.

I. Les radioéléments et les rayonnements ionisants comme instruments de recherche et de contrôle

A. Autoradiographie

Cette méthode utilise l'effet produit dans une émulsion photographique par le rayonnement d'un radioélément qui la traverse. On place au contact d'une émulsion photographique convenable l'échantillon contenant un radio-isotope. Au développement, on a une image donnant la répartition de l'élément marqué par son isotope radio-actif.

Cette application a été principalement utilisée en France dans les recherches entreprises sur des plantes ou des animaux. Cette méthode permet, en particulier, de situer dans quelle partie d'un tissu biologique un radio-élément s'est déposé. Vous voyez immédiatement l'intérêt, soit en médecine humaine ou vétérinaire, soit dans les plantes, par exemple pour l'étude de l'assimilation des engrais, des actions des insecticides.

L'image autoradiographique est observée au microscope. On y décèle des taches sombres et il est assez difficile de les situer. Aussi, il faut comparer avec la préparation histologique. Un ennui réside également dans le manque de netteté de la coupe et de la difficulté d'assurer un bon contact entre la coupe et l'émulsion. Pour résoudre ces difficultés, il est préférable d'utiliser une émulsion fixée à la coupe.

De nombreux centres de recherches agronomiques français de laboratoires de recherches et d'industriels utilisent cette technique.

Dans l'étude des métaux et des alliages, l'introduction du radio-élément peut se faire de deux manières :

— L'introduction directe, qui est la plus générale, consiste à ajouter le radio-élément dans le métal fondu ou par un dépôt superficiel sur l'échantillon ; souvent on introduit ce radio-élément par un alliage-mère facilitant l'introduction.

— La deuxième méthode consiste à irradier dans un réacteur nucléaire un échantillon préalablement établi. Cette technique est possible quand l'élément étudié présente une grande section efficace aux neutrons par rapport à la section efficace du métal de base et des autres éléments présents (cuivre, fer, aluminium, manganèse, tungstène). Elle convient aux éléments à courte période et a l'avantage de préparer les échantillons sur un métal inactif, ou sur des métaux industriels. Par contre, on peut être limité par les dimensions du container à introduire dans le réacteur.

Je n'entrerai pas dans les détails des techniques. De nombreuses industries métallurgiques utilisent ces procédés ; les radio-éléments à incorporer sont fournis par le CEA ou l'irradiation par les réacteurs nucléaires se fait à Saclay.

Ces techniques sont utilisées pour examiner l'hétérogénéité des alliages après solidification ; la première expérience fut faite il y a un peu plus de dix ans sur la ségrégation du phosphore dans l'acier. D'autres études ont porté sur les alliages aluminium-cuivre, sur les alliages fer-soufre, sur la ségrégation du phosphore, du soufre, de l'arsenic dans l'acier, sur la ségrégation des traces de zinc, de ruthénium, de fer ou de cuivre dans des aluminiums de très grande pureté, sur l'influence du forgeage, sur l'influence de la teneur en carbone. Ces techniques permettent également la détection de défauts internes tels que fissures, cavités, bulles de gaz et hétérogénéité des pièces de fonderie ; elle permet de contrôler la régularité, la qualité des soudures, et de résoudre toute une série d'autres questions.

Beaucoup de ces travaux ont été menés par l'Institut de recherches de la Sidérurgie (IRSID), en collaboration avec le CEA. L'autoradiographie rend d'importants services, en permettant de mieux connaître certains aspects de la métallurgie et ainsi de concourir à faire évoluer les techniques.

B. La gammagraphie

a) La gammagraphie est l'utilisation des rayonnements gamma pour le contrôle industriel. Cette technique n'est pas entièrement nouvelle, les premiers essais furent réalisés entre 1920 et 1945 en utilisant des radioéléments naturels (radium radon mésothorium). Nous ne pouvons traiter de ce sujet si important en quelques instants, aussi nous nous limiterons.

Actuellement, le radio-isotope le plus utilisé dans la gammagraphie est le Cobalt 60. Pour les matériaux peu absorbants on peut utiliser le Thulium 170 et il y a quelques années on utilisait le Tantale 182. Différentes autres techniques débutent, dont celles des émetteurs polychomatiques.

Le rayonnement est d'autant plus pénétrant que son énergie est plus grande ; d'autre part, l'épaisseur et la

densité de la matière à examiner interviennent. De ce fait, il n'existe pas de source universelle et il convient d'utiliser un radio-isotope dont les caractéristiques soient en rapport avec le problème posé.

b) Ainsi, le Cobalt 60 est impropre par suite du manque de contraste des clichés à l'étude de pièces en acier minces (en dessous de 30 mm). Par contre, l'Iridium 192 ne peut convenir à l'examen des pièces en acier d'épaisseurs supérieures à 90 mm. Le rayonnement est trop peu pénétrant.

La période du radio-élément intervient ; si celle-ci est trop courte, elle nécessite des réactivations trop fréquentes, ce qui complique le problème et constamment des corrections doivent être faites. L'activité des sources intervient sur la durée d'exposition des pièces.

Les dimensions des sources jouent un rôle important sur la finesse de l'image, donc sa lecture ; une normalisation est en cours : la France et la Grande-Bretagne ont adopté la même.

La gammagraphie permet d'examiner des matériaux sans les détruire, et, d'autre part, parmi les méthodes non destructives elle est la seule à pouvoir s'appliquer aux cas les plus variés.

Je passerai sur les techniques opératoires, qui nous entraîneraient trop loin.

La gammagraphie a permis d'éliminer, dans les secteurs d'industrie l'utilisant, beaucoup d'anomalies devant lesquelles on était jusqu'à présent impuissants.

Elle permet d'éliminer les pièces de fonderie présentant des bulles de gaz emprisonnées dans le métal, des inclusions de scories et laitier, de faciliter en fonderie des moulages irréprochables. Le « Centre technique de la Fonderie française » a codifié un certain nombre de règles dans des grades de tracés de pièces.

La gammagraphie permet de contrôler les soudures, les récipients ayant à travailler à haute pression, les conduites des charpentes, etc.

La gammagraphie est une méthode très simple dans son principe, mais dans son utilisation elle nécessite un spécialiste qualifié. En effet, il doit connaître les sources et leur manipulation, les difficultés d'irradiation, les matériaux à étudier, les films. La pratique ici est la meilleure formation.

En France, la fonderie et la soudure sont les branches industrielles qui utilisent le plus la gammagraphie et en ont tiré le plus de profit.

Différentes firmes fournissent des appareils pour la gammagraphie, par exemple « Gamma Industrie », qui a vendu un « Gammatron » GIR 200, appareil autonome de grande capacité avec Cobalt 60 - Cs 137 et IR 192.

La Société SIAR vend un « Gammagraph ».

La Société Bernas vend un « Gammatron » adapté au contrôle de soudures sur pipeline.

C. Les jauges d'épaisseur

La production en série et en grande quantité nécessite souvent une automation très poussée qu'il convient de régler à chaque instant. D'autre part, les techniques s'affinant, celles-ci deviennent de plus en plus exigeantes, les utilisateurs demandent de plus en plus des produits de qualité à leurs fournisseurs, ce qui impose à ceux-ci de plus en plus de précision dans leur production, donc de plus en plus de contrôle.

Dans ces deux domaines, les radio-isotopes jouent encore un rôle important et sont désignés dans leur utilisation sous le nom de « jauges d'épaisseur ». Elles permettent d'apporter dans de nombreux cas une solution à ces problèmes, leurs avantages principaux résident dans la commodité et le fait que les mesures sont effectuées sans contact avec le corps contrôlé.

Différents types de jauges sont utilisés ; on peut les classer suivant le rayonnement utilisé et l'ordre de grandeur des épaisseurs pouvant être mesurées s'exprimant en g/m².

Jauges α

Ces jauges, du fait de leur rayonnement, sont limitées aux mesures des faibles épaisseurs et fonctionnent par transmission ; les sources utilisées sont le radium et l'uranium ; pour leur choix : le conditionnement, la sécurité et le prix interviennent (épaisseur 25 g/m² pour uranium et jusqu'à 60 g/m² pour radium).

Jauges β

Ces jauges permettent, du fait de la nature de leur rayonnement, des mesures d'épaisseurs moyennes. En fait, elles sont utilisées couramment dans les mesures d'épaisseur de tôles minces, matières plastiques, papier, etc.

Elles peuvent être utilisées par transmission ou par rétrodiffusion. Les radio-isotopes utilisés sont le Prométheum 147, le thallium, le Strontium 90, le Cérium 144.

Jauges γ

Ces jauges sont utilisées pour de fortes épaisseurs (quelques centimètres d'acier). Elles sont utilisées par transmission ou par rétrodiffusion. On peut utiliser le C. 60 ou le Cs 137.

Pour déterminer la source, de nombreux facteurs interviennent : l'épaisseur, la densité du corps, la période du radio-isotope, la nature et la composition du rayonnement, l'activité spécifique, le prix, le conditionnement, etc.

En outre, différents facteurs influent sur la stabilité des jauges : les variations erratiques des équipements électroniques et les conditions extérieures (pression, température, humidité).

Le CEA (Guizerix) a réalisé une jauge à modulation. Les connaissances dans ce domaine et les nombreuse utilisations montrent que cette technique est sortie du laboratoire. Cependant, en général, dans chaque utilisation, il s'agit d'un problème d'espèce et il faut adapter l'appareil.

Les jauges d'épaisseurs répondent à un besoin réel et c'est ce qui a valu leur développement dans l'industrie française. Elles représentent environ 30 % des radio-isotopes utilisés.

Elles peuvent être utilisées dans l'enregistrement en continu de l'épaisseur d'un matériau produit en défilement ; papeterie (La Rochette) ; fabrication des verres et glaces (Saint-Gobain) ; industrie des matières plastiques (Péchiney) ; métallurgie dans les laminoirs (Sollac, Usinor) ; dans les fabriques d'abrasifs.

La technique des jauges, par exemple, a permis en France l'équipement des machines à papiers fins (papier

avion, papier à condensateur, papier à cigarettes), assurant ainsi un contrôle, ce problème n'ayant reçu aucune solution auparavant.

Les jauges β ont permis des mesures de poids spécifiques plus élevés (40 g à 8 kg/m²) dans les diverses industries.

Les jauges γ (8 à 100 kg/m²), pour les métaux laminés, l'industrie du verre.

Contrôle des niveaux d'un liquide dans un réservoir ou mesure des densités

Pour ces applications, il y en a encore peu et, en ce qui concerne les usines qui ont à traiter des produits agricoles ou alimentaires, aucune autorisation n'est encore donnée pour utiliser les radio-isotopes. Certains pays, comme l'Allemagne, ont donné des autorisations limitées à l'utilisation de très faibles activités. D'autre part, dans ces domaines, il existe déjà des solutions nombreuses et variées qui donnent entière satisfaction, sauf dans certains cas où des impératifs existent.

Par exemple, mesure de niveaux dans des enceintes devant toujours rester étanches. Ceci se trouve dans le raffinage du pétrole et la pétrochimie.

On utilise, pour repérer le niveau, soit la mesure directe du rayonnement (jauge γ, à Co 60), soit la mesure du rayonnement par absorption. Le premier nécessite un flotteur à l'intérieur de la cuve, alors que le second ne le nécessite pas, il est très utilisé, la précision absolue peut atteindre 1 millimètre.

L'appareil type répandu est le Gagetron.

Si les techniques d'absorption ne peuvent être appliquées, on utilise la mesure par réflexion γ. Cette technique est plus délicate et moins sensible que les techniques d'absorption.

De même pour la mesure précise des densités de fluides.

Par ailleurs, ces jauges sont munies souvent d'organes de régulation assurant l'automatisation de la fabrication ou du processus.

Dans un ordre d'idées voisin, nous rappelons que le Centre d'études et de recherches des Charbonnages de France, en liaison avec le CEA, a effectué d'intéressants essais qui ont permis la mise au point d'un procédé de mesure de la densité de « saumons de coke pilonnés » et de pulpe sableuse avant leur introduction dans les fours à coke. Les essais effectués à l'usine de Marienau, en Moselle, étaient basés sur l'emploi d'une source de cobalt à faisceau collimaté.

Plusieurs sociétés réalisent des jauges d'épaisseurs.

Le CEA a mis au point plusieurs jauges fabriquées maintenant par l'industrie privée, entre autres une jauge d'épaisseur CEA à rayonnement de freinage modulé (réalisé par Guizerix) et un dispositif de mesures d'épaisseur de dépôts par fluorescence (système Martinelli).

« Caratom » fabrique également une jauge d'épaisseur α ou β (licence CEA), montée en travelling.

Ces méthodes sont bien sorties du stade laboratoire.

D. Les traceurs radio-actifs et molécules marquées

L'utilisation des traceurs radio-actifs et des molécules marquées a reçu en France une extension importante dans toutes les différentes branches industrielles et agricoles ; chacune constitue un cas d'espèce. La technique consiste à étudier un phénomène en le suivant en quelque sorte à la « trace » par de très petites quantités de radio-éléments.

Ce sont la médecine et la biologie qui font l'emploi le plus vaste de cette nouvelle méthode de recherches. Il serait fastidieux et impossible de citer tous les exemples d'application, nous nous bornerons donc à quelques-uns des plus typiques.

Dans le domaine des applications industrielles, bien que l'ampleur soit nettement inférieure à celle des utilisations en médecine et biologie, on assiste à un accroissement continu de la demande en traceurs et en molécules marquées fournies par le CEA, comme je vous l'ai dit précédemment.

M. Rabot, directeur des recherches de la Société des Ciments Lafarge, a procédé à d'importantes études sur le cheminement des constituants du mélange de calcaire et d'argile destiné à la fabrication du ciment, tout au long des fours rotatifs à ciment, dont la longueur est comprise entre 50 et 150 m pour un diamètre compris entre 2 et 5 m.

M. Hamelin, attaché de Direction des Etablissements Kuhlmann, a pu réaliser de nombreuses expériences au moyen de molécules marquées afin d'étudier le mécanisme des réactions chimiques. Il a effectué entre autres des études sur la structure des composés symétriques et dissymétriques, des pyrophosphates de sodium au moyen du Phosphore 32.

La Société Renault utilise couramment pour le contrôle de l'usure sur route un placage de Zinc 65 radioactif pour l'étude de l'usure des engrenages. L'Antimoine 124 est également utilisé pour l'étude du régule des coussinets. Les segments de pistons en acier et en fonte sont marqués au Fer 59 en vue de l'étude de leur usure. Des « Dauphines » spécialement aménagées sont utilisées pour ces recherches.

En métallurgie, l'IRSID et deux sociétés sidérurgiques ont effectué divers essais en vue de déterminer le temps qui s'écoulait entre l'introduction de la charge au gueulard et l'apparition au creuset des produits liquides. Les morceaux de coke ou de minerai ont été marqués avec de l'or et de l'oxyde de lanthane radioactifs. Il en est tiré que dans ce cas il fallait quatre heures (bas point de fission des produits formés) et six heures avec des agglomérés (six heures).

L'IRSID a également étudié l'usure du revêtement des hauts fourneaux en utilisant des radio-éléments, d'une part à périodes courtes (phosphore, iridium) et d'autre part à périodes longues (Ag, Sr, Co) pour permettre de distinguer le niveau du creuset atteint par l'usure. Pour éviter les anomalies créées par le Co gazeux, le CEA avec Saint-Gobain ont mis au point des sources en « pyrocame » (céramique cristallisée, où est incorporé environ 25 % d'oxyde de cobalt).

L'IRSID a également étudié la solidification des lingots sur des lingots de 4 t au moyen d'or radioactif.

Utilisation des pistons racleurs

Il s'agit d'appareils au gabarit exact des tubes, munis d'une source de Cobalt 60. On les envoie dans les pipelines ou conduites ; lorsqu'ils s'arrêtent (gabarit non respecté ou obstacle) ils sont repérés du sol grâce à un détecteur portatif. Le CEA a effectué de nombreux travaux de cette sorte, ainsi que la Société Bernas.

M. Leclerc, de la Compagnie Saint-Gobain, a signalé que sa société avait effectué des recherches sur les fibres de verre fraîchement étirées au moyen de traceurs radio-actifs. Ces études ont démontré que la structure superficielle des fibres évoluait d'une façon sensible pendant les heures qui suivent l'étirage. L'étude du mouvant des verres dans les fours a été effectuée par la Compagnie Saint-Gobain au moyen du Radiosodium 24. La mesure des niveaux dans les fours est très généralisée à Saint-Gobain, où plus de vingt-cinq fours sont munis d'indicateurs de niveau équipés de sources de 5 millicuries de radium.

Les opérations de blanchiment des fibres textiles ont été très longuement étudiées par MM. Rochas, Gavet et Bussière, de l'Institut des recherches de la soierie et des textiles de Lyon. Des méthodes analytiques ont été mises au point par ces chercheurs, en particulier en marquant au moyen des cations radio-actifs des agents oxydants de blanchiment. De même, ces auteurs ont étudié les phénomènes de gonflements, échanges d'ions, solvatation, etc., au moyen du Cobalt 60 et de l'Argent 110.

Dans le domaine de la biologie agricole animale et végétale les chercheurs de l'INRA utilisent d'une façon extensive les traceurs radio-actifs et les molécules marquées. Récemment un important travail a été publié sur la vie des abeilles.

En agriculture, les centres de recherches et les sociétés productrices de produits nécessaires à l'agriculture utilisent les molécules marquées ou les traceurs pour connaître l'action de leur produit, sa localisation après traitement, etc. Pour les fongicides, on ne disposait jusqu'ici d'aucune méthode quantitative. En utilisant le C 14, le Ce 144, on a pu avoir d'intéressantes indications sur l'action des fongicides. On pourra mieux mettre au point de nouveaux fongicides plus efficaces et plus sélectifs.

Etude des insecticides avec les molécules marquées (P 32, S 35, C 14).

Etude des engrais pour rechercher les meilleures conditions de fertilisation des sols et les mécanismes des actions des engrais (C 14, P 32, K 42, Ca 45 et bien d'autres).

Avant l'utilisation des radio-isotopes, résultats inexistants.

On a étudié le transport des sédiments marins (plage de Cannes - embouchure de l'Adour). Le Laboratoire national d'hydraulique de Chatou a mis au point un dispositif d'immersion de sable radio-actif.

En hydrologie, des études ont été faites sur la rétention des traceurs par un sable argileux. Expérience de Serre-Ponçon : recherches des fuites dans les canalisations (principe).

Injection de bromure de méthyle : en France, ceci est pratiqué sur les câbles téléphoniques gonflés d'azote et les conduites de gaz.

En résumé, les applications des traceurs radio-actifs sont très nombreuses et chacune d'elles constitue un cas d'espèce ; aussi, nous nous sommes volontairement limités et, d'autre part, nous ne connaissons pas tous les utilisateurs français. L'utilisation des traceurs représente environ 12 % des fournitures de radio-isotopes en France.

E. L'analyse par activation

L'analyse joue un rôle de plus en plus important pour affiner les méthodes de production et est une base essentielle de la recherche. Au fur et à mesure que la technique se développe industriellement, deux points prennent de l'importance :

— connaître de mieux en mieux la composition d'un matériau quelconque et, par suite, détecter des quantités de plus en plus faibles d'impuretés ;

— la haute productivité mettant en jeu des quantités importantes de matières transformées rapidement, nécessite des contrôles rapides de la composition des produits fabriqués.

Les méthodes d'abord purement chimiques ont fait appel à des phénomènes biochimiques ou physico-chimiques, mais actuellement, dans certains cas, elles ne sont plus suffisantes.

Or un radio-élément, par le rayonnement qu'il émet, peut être détecté en quantités infimes (traces). Il semble donc que dans ce domaine les radio-isotopes aient un rôle important à jouer ; c'est le domaine de l'analyse par activation.

En général, on utilise l'activation directe, les étalons et l'échantillon sont irradiés en même temps. Après traitement les activités des radio-isotopes formés dans les étalons et l'échantillon sont comparées et, celles-ci étant proportionnelles à la masse de l'élément irradié, on a le résultat de l'analyse.

Les appareillages utilisés pour réaliser l'activation peuvent être groupés en trois catégories comme générateurs de neutrons :

a) *Tubes scellés*

Le flux de neutrons est assez faible : 10^8 n/sec dans 4π ; pour des flux plus élevés, le coût est prohibitif. En général, la durée de vie est courte.

Le CEA fournit de petites sources de Sb-Be de 1 curie (10^6 n/sec dans 4π).

b) *Accélérateurs*

Les accélérateurs fournissent un flux de 10^9 à 10^{12} n/sec dans 4π. En France, la SAMES de Grenoble fabrique deux modèles, 150 KeV et 300 KeV, donnant deux flux, 10^9 n/sec et 10^{10} n/sec.

c) *Les réacteurs*

Certains petits réacteurs peuvent être utilisés, d'une puissance de 10 kW. Les importants réacteurs peuvent être utilisés (Saclay, Grenoble). En France, la Société « Indatom » a un réacteur « Rebecca » de puissance thermique moyenne de 10 kW.

Le CEA et un certain nombre d'industriels français s'intéressent à cette technique nouvelle.

En l'état actuel des connaissances, les tubes scellés sont en général à éliminer (réactivation trop fréquente, flux non suffisant), les réacteurs trop coûteux, et pour le moment on ne peut envisager l'installation d'un petit réacteur dans une usine ; il reste les accélérateurs, qui semblent pour le moment les plus indiqués.

En outre, si l'on connaît le principe de la méthode, il convient de l'adapter à chaque cas particulier.

Actuellement, le CEA à Saclay, mais principalement à Grenoble, fait un effort sur la mise au point de ces techniques avec ses réacteurs. La Société Péchiney vient d'installer un laboratoire à Grenoble.

Saint-Gobain, Michelin, Progil, Les Charbonnages de France, Ciments Lafarge sont très intéressés par cette méthode et étudient ces problèmes. En général, c'est le contrôle en cours de fabrication qui intéresse principalement ces firmes (plus grande rapidité des analyses, meilleure détection des impuretés).

Les études portent sur le matériel adéquat et sur la mise au point des méthodes.

II. Radio-isotopes employés comme instruments de production

Depuis longtemps on connaît l'existence de réactions chimiques radio-induites, mais cette branche de la chimie n'a vraiment commencé son développement qu'avec l'énergie nucléaire et les travaux systématiques n'ont pas plus d'une dizaine d'années.

Tous les pays ont engagé beaucoup de moyens dans la recherche radiochimique et la France l'a fait également. Il y a lieu de constater que dans tous les pays et en France, malgré le domaine si riche et si varié de la radiochimie, les efforts importants réalisés, les créations qui ont abouti à une application commerciale sont peu nombreuses, même dans le monde. Elles existent principalement aux USA et en Grande-Bretagne et encore dans le cas de polyéthylène irradié on n'utilise pas des radio-isotopes comme sources de rayonnements, mais des accélérateurs produisant des électrons accélérés. Quant à l'autre application commerciale, la stérilisation de matériels chirurgicaux et pharmaceutiques, celle-ci a été d'abord réalisée par des accélérateurs, mais on s'orientera vers des installations à radio-isotopes dans de nombreux cas.

1° Instrument de production en radiochimie.

2° Instrument de production dans la stérilisation de tous matériaux et produits et dans la conservation des denrées alimentaires, bien qu'en fait, parfois, cette deuxième application soit aussi de la radiochimie en partie.

A. Radio-chimie

En France, toutes les importantes sociétés se sont penchées sur les problèmes d'utilisation des rayonnements des radio-isotopes dans leurs fabrications.

Chimie macromoléculaire

Les premiers travaux dans ce domaine ont paru après 1945 ; ils étaient en fait la publication de constatations faites dans les premiers réacteurs. De nombreux chercheurs ont étudié ces problèmes et beaucoup de travaux ont été réalisés dans ce domaine et ils ont reçu beaucoup de publicité.

En France, M. Magat et ses collaborateurs ont beaucoup étudié les aspects théoriques des réactions et ont acquis une solide renommée dans ce domaine.

Les caractéristiques dans le cas de la polymérisation chimique sont les suivantes :

— en principe, on a la possibilité de polymériser des monomères qui, ordinairement, ne réagissent pas ou nécessitent des installations compliquées (éthylène, par exemple) ;
— possibilité de polymériser à l'état solide ;
— suppression, dans de nombreux cas, de la présence de produits étrangers introduits par la catalyse chimique ;
— possibilité de déclencher la polymérisation avec des vitesses élevées à haute température ;
— contrôle facile du poids moléculaire et des vitesses d'amorçage.

Les principales sociétés françaises se sont penchées sur ces problèmes et continuent de les étudier (Péchiney, Saint-Gobain, qui ont des laboratoires spéciaux, Kuhlmann, Progil, etc.(.

Polymérisation

En ce qui concerne les matières plastiques et les caoutchoucs, il est connu que les rayonnements apportent des changements aux produits.

En France, Chapiro a réalisé de nombreuses études et des recherches systématiques sur les systèmes possibles.

Toutes les sociétés productrices de matières plastiques s'intéressent à la question (Péchiney avec Organico, Rhodiaceta RVA, Charbonnages de France, Saint-Gobain, etc.).

Bien que les rayonnements semblent être d'un intérêt certain pour la réticulation, les diverses sociétés hésitent à s'engager plus avant. Deux points importants font l'objet des discussions : la chimie classique, avec les progrès rapides qu'elle réalise, entre en compétition avec la radiochimie ; l'autre est le côté économique : le rayonnement est encore cher, mais on peut espérer qu'avec le développement de l'énergie atomique cet obstacle tombera.

Dans le domaine des caoutchoucs, la vulcanisation par rayonnement semble apporter des résultats intéressants ; elle nécessite des doses de 10 à 50 mégarads. En France, au CEA, M. Lamm s'occupe principalement de ces problèmes et la Société Michelin fait des recherches sur l'utilisation des rayonnements dans son industrie.

Dans le domaine du greffage radiochimique des matières plastiques, il semble y avoir beaucoup d'avenir, car le procédé est très séduisant. En bref, le greffage permet d'obtenir des produits qui, soit dans leur masse soit dans leurs surfaces, présentent des propriétés inusitées. De nombreux brevets français de principe ont été pris dans ce domaine.

Le greffage en surface permet d'obtenir des matériaux résistants aux huiles, faciles à teindre, antistatiques, etc.

Le greffage dans la masse permet de créer des matériaux dont les propriétés mécaniques et chimiques varient dans de larges limites.

En France, divers producteurs de fibres synthétiques de plastiques ou d'élastomères étudient ces problèmes (Rhodiaceta). Mentionnons un copolymère greffé fabriqué en France au stade pilote dans une installation semi-industrielle de Nobel-Bozel, qui sert principalement à greffer l'acétate de vinyle sur l'acétate de cellulose ; la dose est de 300 000 rads, hors de la présence d'oxygène et avec une installation de 750 curies de Cobalt 60.

Dans un autre ordre d'idées, la Société Progil étudie un décontaminant, le Dragil, utilisé pour traiter les objets contaminés. Elle étudie également un solvant résistant aux radiations et à la chaleur, le Dodécane.

Saint-Gobain Nucléaire poursuit des études par action de hauts flux sur des joints en Klingérit, des résines, colorants, teflon, polyéthylène, etc., sur la coloration

de certains produits sous l'action des rayons γ (Lencoflex, Altuglass), sur les verres, leur collage et leur résistance aux rayons γ, l'influence des rayons γ sur les moteurs électriques et les contacts, usure des balais charbons de moteurs sous rayonnements u, résistance des électrovannes, des câbles électriques suivant la nature du protecteur, etc. Péchiney, Saint-Gobain, poursuit ses études sur les copolymères greffés.

Organico avec Conservatome étudie l'action des rayonnements u sur le Rilsan utilisé comme emballage. Péchiney et Conservatome étudient l'aluminium employé comme emballage pour les produits à stériliser.

Les Ciments Lafarge étudient sous l'action des rayons γ le comportement de bétons de différentes compositions.

Le Centre de recherches des Charbonnages de France (CERCHAR) a étudié l'action des γ sur la houille avec réticulation avec la production d'hydrogène et de méthane pour dépolymérisation. La houille gonfle mieux à la carbonisation et devient plus soluble dans différents solvants. Durant l'hydrogazéification, le rayonnement γ accélère cette opération. L'huile de diesel contenant des grains de houille en suspension montre un éclatement des grains en suspension et leur stabilisation.

En conclusion, malgré les efforts de l'industrie française dans ce domaine, les recherches donnent lieu alternativement à des périodes de pessimisme et d'optimisme.

On constate ici l'importance des possibilités et en même temps l'absence presque totale de réalisations pratiques. Les difficultés sont certainement d'ordre technologique et économique, mais nous pensons que tôt ou tard on entrera dans l'ère des réalisations pratiques.

B. Conservation et stérilisation

Dans ce domaine, nous allons voir les possibilités immenses pour l'avenir, mais peu de réalisations pratiques. Nous pensons que les chercheurs sont allés trop vite par rapport à l'adaptation des gens.

Si, dans cette branche, les rayonnements ont des actions relevant de la radiochimie en général, soit par la composition des corps traités, soit par les faibles doses employées, ces réactions sont peu importantes. Les points intéressants de l'action des rayonnements sont, d'une part, action sur des végétaux vivants avec des faibles doses, et, d'autre part, l'action de destruction plus ou moins totale, suivant la dose, des micro-organismes.

Végétaux

L'action diffère suivant la dose utilisée. Je rappelle que la dose de 400/500 rads est la dose léthale pour l'homme, c'est-à-dire où 50 % d'une population est tuée. Au cours de nos recherches, il semble apparaître que moins un être vivant est développé, plus il est résistant aux radiations. Ainsi les insectes sont plus résistants que l'homme et les micro-organismes sont plus résistants que les insectes.

Pour les végétaux :

— Si l'on traite des graines, des bourgeons, des tubercules, à des doses de 100 rads à quelques milliers de rads, on constate une variation de certains caractères des végétaux issus de ces graines ou autres irradiés. Certaines modifications peuvent être bénéfiques (plantes plus productrices, tiges plus grosses et plus résistantes, changement de couleur, etc.). Conservatome étudie depuis plusieurs années ces problèmes complexes et je ne peux m'étendre, cela nous entraînerait trop loin.

— Si l'on traite des végétaux en cours de croissance par des rayonnements et d'une façon chronique, on multiplie les chances de mutations par des fonctions de l'ordre de 1000. Ceci est intéressant pour trouver de nouvelles variétés de végétaux.

Conservatome a mis au point une telle installation d'irradiation.

Si l'on traite certains tubercules à des doses de 8000 à 11 000, on arrête complètement leur faculté germinative. Ainsi, on peut conserver des pommes de terre jusqu'à deux ans en excellent état, avec une bonne hygrométrie. De même, la germination des aulx, oignons, est arrêtée.

Si l'on étudie l'action des radiations ionisantes sur la conservation des denrées alimentaires, en partant de doses de dizaines de milliers de rads à 2-3 mégarads, on constate les effets suivants :

— *Désinsectisation :* Les travaux, en France, de Conservatome et du professeur Pesson, de l'INA, ont montré que des doses de l'ordre de 20 000 rads assuraient la stérilité de nombreux insectes des céréales. Des études sont en cours pour d'autres insectes. Des études complémentaires faites en collaboration avec Conservatome, l'Ecole française de Meunerie, M. Guilbot du CNRS, ont montré que de telles doses n'altéraient en aucune manière la qualité des farines.

— *Pasteurisation froide :* Dans ce domaine sont rangées les doses de 100 000 à 700 000 rads. Dans cette zone, on n'a pas une stérilisation totale du produit, on augmente sa durée de conservation avec les doses appliquées, mais souvent au point de vue technologique il y a intérêt à associer les radiations et le froid ou la chaleur.

Ainsi, dans les doses de 150 000 à 200 000 rads et la réfrigération à $+4^{o}/+7^{o}$C, on augmente de façon notable la durée de conservation des fraises, framboises, abricots, pêches, tomates. Les ananas semblent avoir une meilleure conservation avec 150 000 rads et une température de $+12^{o}$C. Conservatome, depuis plusieurs années, met ces techniques au point.

De même, l'action des radiations sur les œufs congelés assure une destruction des salmonellas qui sont difficiles à détruire par la chaleur. Une dose de 375 000 rads est nécessaire. Conservatome, avec les laboratoires de contrôle de la Préfecture de police de la Seine, a mis au point les études.

L'action de doses de 250 000 à 300 000 rads permet d'améliorer la fabrication du jambon en boîte et de lui assurer une longue conservation. Conservatome a des jambons en boîte qui ont trois ans de conservation à la température ambiante.

Les travaux de recherches et technologiques sont menés par Conservatome, la Société Morey et les Laboratoires des subsistances de l'armée française.

Un grand nombre de recherches dans cette branche sont étudiées par Conservatome (conservation de plats cuisinés, des viandes, des poissons, du pain, etc.).

Quant à la stérilisation des denrées alimentaires, on peut l'assurer complètement par les radiations ionisantes. Cependant, pour certains produits, il y a de légères modifications de goût à 2 ou 3 mégarads et des recherches sont encore nécessaires.

Comme vous le voyez, des résultats tangibles ont été obtenus, dont les répercussions pratiques auront une portée importante. Les études technologiques d'usine ont été faites par Conservatome, et en particulier le bloc du CLAA à Cobalt 60, à Dagneux (Ain) est une préfiguration d'un tel ensemble.

Mais, en France, l'usage des radiations est considéré par le Ministère de la santé publique et le Service des fraudes comme un additif au produit. Des autorisations sont nécessaires: Conservatome a entrepris des démarches pour les pommes de terre et les céréales. Un premier document a été établi par une commission spécialisée comprenant des représentants des diverses administrations et des industriels. Ce document indique les formalités à remplir en vue d'une autorisation.

En passant, je vous signale que l'URSS et le Canada ont donné l'autorisation d'irradier les pommes de terre. Quant au prix, il est déjà dans de nombreux cas compétitif, mais avec le développement des industries nucléaires l'irradiation deviendra un procédé très compétitif avec les autres procédés de conservation.

C. Stérilisation de produits et matériaux divers

De par son activité, Conservatome a été amené à étudier la stérilisation de produits et matériaux les plus divers.

Produits pharmaceutiques : Certains produits pharmaceutiques sont difficiles à stériliser par la chaleur (onguents, pommades, produits à base d'antibiotiques, etc.). Les radiations ionisantes peuvent dans certains cas apporter une solution élégante au problème. Des études sont en cours à ce sujet.

De même, la stérilisation des bandes et pansements est très difficile par la chaleur et est très onéreuse. La stérilisation par rayonnement apporte une solution ; des doses de 2,5-3 MR sont nécessaires.

Médecine, chirurgie : Dans ce domaine, la stérilisation, principalement en chirurgie, joue un grand rôle. Les instruments médicaux, les gants, bottes, etc., peuvent être facilement stérilisés par irradiation à travers leur emballage étanche.

De même, les couvertures, draps, etc., peuvent être stérilisés.

Des fils pour sutures, des appareils de transfusion sanguine, des aiguilles hypodermiques, etc., sont très facilement stérilisés dans leurs emballages étanches.

Conservatome a réalisé toutes ces études et mises au point ; de même, cette société a été amenée à collaborer à des problèmes bien particuliers : étude de la stérilisation d'aorte de chien pour greffage, stérilisation d'appareillage, y compris des petites installations électroniques dans les opérations du cœur ; un programme est à l'étude en vue de l'irradiation des os pour les banques d'os.

En dehors de cela, nous ne parlons pas de toutes les stérilisations effectuées : matériel de laboratoires, milieux de cultures, terres, matériaux divers, échantillons divers de produits pour effectuer leur étude en milieu aseptique, etc.

Cette branche devrait avoir, en France, des applications pratiques immédiates ; certains fabricants en relation avec Conservatome étudient l'avant-projet d'une telle application. On se heurte à deux obstacles :

1° Si l'on utilise des accélérateurs d'électrons, on ne peut stériliser que des produits de très faible épaisseur, donc le champ est limité. D'autre part, ces accélérateurs ont une telle puissance qu'un d'entre eux pourrait stériliser la production française d'aiguilles, par exemple.

2° L'utilisation des rayons gamma d'une installation de Cobalt 60 répondrait à tous les problèmes, mais il n'y a pas encore d'installation assez puissante pour assurer une production importante. Mais ceci doit intervenir dans un avenir plus ou moins rapproché.

C'est pour ces raisons que l'utilisation pratique de ces résultats n'est pas encore réalisée à une échelle importante.

La solution est dans certains cas le groupement des intéressés qui utiliseront un centre commun d'irradiation.

Chapitre III

A. Utilisateurs

Nous venons rapidement de vous rappeler les principales applications de l'utilisation des radio-isotopes en France.

Le nombre total des utilisateurs s'établit aux environs de 700 et la répartition est sensiblement la suivante :

	Industries	Laboratoires	Etablissem. hospitaliers
Total à fin 1958	432	223	70
» » 1959	503	239	77
» » 1960	588	300	93
» » 1961	701	369	101

Pour la répartition des applications, elle peut s'établir comme suit :

Gammagraphie	environ 28 %
Traceurs radio-actifs	» 12 %
Jauges d'épaisseur	» 33 %

Quant à l'utilisation des principaux radio-isotopes, voici quelques éléments :

B. Les radio-isotopes artificiels les plus utilisés

Radio-isotope	*Rayonnement principal (Energie en MeV)*	*Période*	*Principaux emplois*
Carbone 14	β (0,15)	5 000 ans	Chimie organique, métallurgie du fer, détergents, biologie
Phosphore 32	β (1,7)	14 jours	Métallurgie, chimie du phosphore, biologie
Soufre 35	β (0,17)	87 jours	Chimie analytique, sidérurgie, agronomie
Chlore 36	β (0,7)	10 000 ans	Recherches sur les aciers inoxydables
Calcium 45	β (0,25)	180 jours	Chimie analytique, alliages, mesures d'épaisseur, agronomie
Fer 55	x (0,2)	3 ans	Métallurgie du fer, alliages, corrosion, usure, lubrification
Fer 59	γ (1,3)	44 jours	Idem
Cobalt 60	γ (1,3)	5/3 ans	Gammagraphie, téléthérapie
Strontium 90	β (0,6)	20 ans	Elimination des charges statiques
Yttrium 90	β (2,5)	60 heures	
Ruthénium 106	β (0,04)	290 jours	Radiométallographie
Iode 131	γ (0,7)	8 jours	Biochimie de l'iode
Cesium 134	γ (1,4)	2/3 ans	Téléthérapie
Cerium 144	γ (0,13)	175 jours	Radiométallographie
Europium 152	γ (0,12)	5/3 ans	Téléthérapie
Tantale 182	γ (0,15)	117 jours	Radiométallographie
Iridium 192	γ (0,5)	70 jours	Radiométallographie
Thallium 204	β (0,76)	3 ans	Mesures d'épaisseurs

Les utilisations en sont très diverses et, comme nous vous l'avons dit, chaque application d'une technique nécessite une adaptation qui, d'ailleurs, est plus ou moins longue. Nous ne pouvons entrer plus dans le détail, mais nous sommes à votre disposition, si une application vous intéresse spécialement, pour vous mettre en relation avec les personnes l'utilisant.

C. Appareillage utilisé

Les utilisateurs de radio-isotopes dans les diverses techniques rappelées précédemment avaient besoin, d'une part, des radio-isotopes et, d'autre part, des installations et appareillages mettant en œuvre ces radio-isotopes.

Radio-isotopes

Les radio-isotopes sont, à l'heure actuelle, dans la généralité des cas fournis par le Commissariat à l'Energie atomique ou importés. Ce CEA a fait un effort important dans ce domaine et a développé et développe de plus en plus le nombre de radio-isotopes qu'elle met à la disposition des utilisateurs et accroît la quantité de curies à mettre sur le marché. Ce CEA est aussi exportateur.

Le CEA prépare :

— plus de 100 radio-isotopes purs
— plus de 100 radio-isotopes en combinaisons
— plus de 100 molécules marquées au carbone 14
— plus de 6 » » à l'iode 131
— plus de 12 » » au soufre 35
— une soixantaine de molécules marquées au tritium
— une dizaine de » » au deuterium

Les molécules marquées à l'Azote 15 (une vingtaine) sont préparées par l'Office national industriel de l'Azote (ONIA).

Le département des radio-éléments du CEA, sous la direction de M. Fisher, à Saclay, a une section des applications des radio-éléments dirigée par M. Cornuet et son adjoint, M. Hours.

Le CEA contrôle cette production et en assure la vente ; ceci n'est pas dans le but d'assurer une meilleure rentabilité des réacteurs, mais de contrôler l'emploi qui peut être fait des radio-éléments pour des raisons de sécurité. Le CEA, par ailleurs, stimule l'utilisation des radio-éléments.

Une Commission interministérielle des radio-éléments artificiels statue sur les demandes et accorde des licences ; en même temps, cette commission conseille le législateur pour l'établissement des règlements.

Les ventes de radio-éléments de fabrication française sont, par ordre d'importance :

Iridium 192 . . .	3640 curies
Iode 131	173 curies
Or 198	85 curies
Cobalt 60	390 curies
Phosphore 32 . .	56 curies

	France	*Exportation*	*Total*
1958	NF 367 000	NF 108 000	NF 475 000
1959	623 000	255 000	878 000
1960	953 000	674 000	1 627 000
1961	1 432 000	893 000	2 325 000

Les exportations ont porté, en 1960, sur : Allemagne fédérale, 558 livraisons ; Pays-Bas, 432 ; Italie, 244 ; Belgique, 153 ; d'autres pays ont également acheté des radio-isotopes, mais en quantité moindre (USA, Canada, Grande-Bretagne, URSS, Suisse, Japon, etc.). Ceci s'explique par le grand nombre de radio-éléments et par le fait que dans les pays producteurs, certains ne sont pas continuellement livrables.

Pour vous donner une idée de la position française, la Grande-Bretagne vient en tête avec un chiffre d'affaires de l'ordre de 14 millions de nouveaux francs, suivie par les USA avec environ 11 millions de nouveaux francs, puis la France, de l'ordre de 2,5 millions de nouveaux francs.

Il convient de noter qu'à l'inverse de la Grande-Bretagne et des USA, la France est peu productrice de Cobalt 60, ce qui comble une partie de la différence du chiffre d'affaires.

Appareillages et installations

Dans le domaine de l'énergie nucléaire, de la propulsion nucléaire, des groupements de sociétés ont été créés dont les buts étaient de grouper diverses activités en vue de réaliser des ensembles importants faisant appel à toutes sortes de techniques.

Dans le domaine des appareillages et installations à radio-isotopes, si on a vu des firmes orienter leur activité dans ce domaine, dans la généralité des cas de nouvelles entreprises ont été créées. Toutes, comme dans les industries nouvelles d'avant-garde, elles ont et ont eu des périodes difficiles, certaines ont dû même s'orienter vers d'autres branches pour avoir une activité suffisante. Quoi qu'il en soit, la France possède à l'heure actuelle un certain nombre d'entreprises qui fournissent matériel, matériau, installations nécessaires aux techniques exposées précédemment. Ce matériel est excellent et, dans de nombreux cas, il est exporté vers d'autres pays. Je ne veux pas vous faire état de toutes les sociétés, mais je vous en citerai quelques-unes ayant des fabrications caractéristiques.

Gammagraphie

« Gamma Industrie » s'est spécialisé entre autres dans la fourniture de tels appareillages.

Bernas, Saphymo, Socamic fournissent également des appareillages.

Jauges d'épaisseur

Mesco fabrique des jauges à rétrodiffusion gamma et jauges β.

Caratom fabrique des jauges α, β, γ.

Foulquier, Jouan, Sirelec, Sami, Saphymo, Saip.

Mesures de niveaux et densités

A signaler la jauge de densité de Saip avec une précision de l'ordre du 1/1000.

Mesco, Gamma Industrie, Saphymo.

Matériel de protection et de manipulation

Manipulation des radio-isotopes et protection de plomb :
Radiaplix, Etablissements Lemer & Cie.

Protection :
Fonderie de Gentilly.

Cellules étanches aux α et γ. Hublots en verre pour installation haute activité. Etudes et constructions de laboratoires chauds :
Saint-Gobain Nucléaire.

Irradiateur-container laboratoire à Cobalt 60

300 à 10 000 curies : Conservatome.

Etude d'installations à haut flux

Conservatome.

Matériel électronique

L'électronique appliquée : Derveaux, CRC, CSF, etc.

Analyse par activation

Accélérateurs 150 KeV et 300 KeV : Sames.

Sélecteurs transistorés multicanaux : « Intertechnique ».

Réacteur à faible puissance pour irradiation

« Indatom ».

D'autre part, il convenait d'étudier l'intérêt que peuvent éventuellement présenter pour l'irradiation les barres d'uranium en cours de désactivation. A cet effet, le CEA et Conservatome étudièrent une casemate d'irradiation utilisant les barres d'uranium du réacteur EL3 à Saclay.

Cette casemate dispose d'un convoyeur à vitesse variable et peut être conditionnée à différentes températures.

A côté, existe une autre casemate pour l'étude des micro-organismes, également réglée au point de vue température.

Diverses sociétés possèdent dans leurs laboratoires des installations d'irradiation à Cobalt 60 (Péchiney-Michelin, Saint-Gobain, Rhodiacéta, Conservatome, Compagnie française de Raffinage, Institut français du Pétrole).

Mais il est apparu que pour connaître l'utilisation des α à hautes doses et l'étude des γ dans la production, il convenait d'avoir une installation à haut flux. Ceci a été la réalisation du Centre lyonnais d'applications atomiques (CLAA), dont je vais vous entretenir.

D. Installations d'irradiations à haut flux à radio-isotopes

Comme nous vous en avons fait part, il y a huit ans environ on ne parlait de curies que par unité dans le domaine industriel. Les études faites sur les radio-éléments, leur meilleure connaissance, l'augmentation du nombre des firmes s'intéressant aux radio-éléments, l'étude des besoins, firent rapidement évoluer ce problème.

En 1948, je ne trouvais pratiquement aucun matériel valable pour effectuer des irradiations. Quand fut mis en exploitation le second réacteur français EL2, en 1954, grâce au CEA, je fus le premier industriel à effectuer des irradiations à une échelle importante, mais encore modeste.

J'avais proposé d'utiliser les barres d'uranium en cours de désactivation, avant traitement, du réacteur EL2. Il serait intéressant de vous parler de cette époque héroïque, mais notre temps est limité.

D'autres industriels vinrent se joindre à nous pour effectuer des irradiations. Inutile de vous dire que la multiplication du nombre des utilisateurs, le peu de temps possible d'irradiation (deux à trois mois par an), la gêne apportée au CEA nous obligèrent à trouver une autre solution. Mais on peut dire que cette période constitue le début de l'intérêt porté aux radio-isotopes par les industriels français.

Dans ces conditions, le CEA et Conservatome mirent au point, en collaboration, un irradiateur à Cobalt 60 dont la caractéristique principale est que le container de transport sert de laboratoire d'irradiation, évitant ainsi la manipulation des sources. Cet irradiateur est fabriqué par Conservatome avec des capacités de 300 à 10 000 curies.

Un certain nombre d'industriels français disposent d'un tel irradiateur de 600 curies, l'INRA d'un de 1500 curies.

Parallèlement, le CEA développait ses installations d'irradiation en Cobalt 60.

E. Groupements d'industriels français

Dans le domaine de l'utilisation des radio-isotopes, nous avons vu que, surtout dans leur emploi comme instruments de production, des quantités importantes de curies de radio-isotopes étaient nécessaires et que, par suite, des doses de rayonnement élevées étaient nécessaires.

Les études faites pour développer les recherches dans ce domaine ont montré que quatre importantes difficultés existaient :

— Matériel inexistant sur le marché, donc nécessité de le concevoir, de le créer et de l'utiliser, le tout avec souvent des connaissances imprécises et le peu de données pour prévoir les difficultés éventuelles. Pour vous donner une idée, en 1954, quelques curies de Cobalt 60 étaient pour beaucoup de gens des quantités importantes ; aussi, lorsque après on a parlé de centaines de curies, vous étiez regardé un peu comme un être bizarre ; puis on a parlé de dizaines de milliers, puis centaines de milliers, puis millions de curies ! alors qu'il n'y a pas plus de trois ans, la production de Cobalt 60 des USA était, je crois, d'environ 150 000 curies par an.

— Mauvaise utilisation du matériel par une société. En effet, il s'est révélé à l'étude que les installations nécessaires étaient surpuissantes par rapport aux besoins de recherches d'une firme, si importante soit-elle ; cette installation allait rester inutilisée une grande partie de l'année.

— Les investissements étaient trop lourds pour une seule firme, car elle ne savait pas si elle aboutirait à des conclusions pratiques. Par suite, les risques financiers étaient trop importants et à eux s'ajoutaient les risques techniques, importants également. Les appareillages pouvant être erronés dans leur conception, dépassés après une très courte utilisation, leur perfectionnement et leur mise au point étaient onéreux.

— Les spécialistes dans ce domaine étaient très rares et ils ne pouvaient être formés par l'étude, mais par le travail sur le tas. Ensuite, il convenait de les utiliser à plein temps dans cette technique, pour éviter toute dispersion et qu'ils ne soient plus « à la page ».

C'est pour toutes ces raisons que fut d'abord créé Conservatome. Si dès 1948 je m'étais intéressé à l'utilisation des radiations dans la conservation et la stérilisation des denrées alimentaires, ce n'est qu'en 1953/1954 que l'on put réaliser les premières expériences en utilisant comme source de rayonnement gamma les barres d'uranium du second réacteur français EL2. Conservatome fut créée quelque temps après ; elle comprend trente et une sociétés des industries agricoles et alimentaires. Elle a effectué de nombreux travaux dans le domaine de la conservation des denrées alimentaires et de la stérilisation, dont je vous ai entretenus précédemment.

Pour les mêmes raisons Conservatome, développant ses activités, et d'autres sociétés cherchant des moyens d'irradiation (Péchiney-Progil, Saint-Gobain, Centre de recherches des Charbonnages de France (CERCHAR), Ciments Lafarge, Berliet, etc.) se groupèrent et créèrent, avec l'accord du CEA, le Centre lyonnais d'applications atomiques, dont le but est de mettre à la disposition de ses adhérents les moyens d'irradiation dont ils ont besoin. Ce Centre a acquis 23 hectares de terrain à Dagneux, près de Lyon. Après étude, il a été décidé que la première réalisation serait un bloc à rayonnement gamma à Cobalt 60. Ce bloc peut contenir 1 million de curies de cobalt ; la salle d'irradiation a un volume de 150 m³. Sa conception a été étudiée pour obtenir une grande souplesse de fonctionnement et satisfaire aux besoins les plus divers des membres du

CLAA. Ce bloc, avec celui de Wantage, en Grande-Bretagne, sont les deux seuls existant actuellement.

Quelques caractéristiques

Murs : 2,50 m de béton ; toit : 1,50 m de béton ; piscine : 7×3 m, 6 m de profondeur ; convoyeur : 1 tour 30,′ 1 tour 24 ; hublot : 1,25 m, en six blocs ; plomb cerium Saint-Gobain.

Conclusion

Comme vous venez de le voir, l'industrie française s'engage résolument dans l'utilisation des radio-isotopes. Comme toute technique nouvelle, ce développement subit des poussées et des périodes de ralentissement. Il convient cependant de noter que l'industrie a fait un effort important par elle-même, que peu d'autres pays ont fait. Le Commissariat à l'Energie atomique français, par son dynamisme et son esprit d'entreprise, l'a beaucoup encouragée et aidée.

Il reste beaucoup à faire ; le travail est dur, étant d'avant-garde. Mais si l'on considère les résultats obtenus en peu d'années, malgré les difficultés de tous ordres et les possibilités très larges offertes par les radio-isotopes, cet effort sera payant.

Les utilisations se feront de plus en plus nombreuses, les radio-isotopes apporteront à l'industrie une aide incomparable lui permettant d'améliorer et même de transformer ses techniques et de coopérer à l'amélioration de ses prix de revient.

Aussi toute personne doit être convaincue que les radio-isotopes joueront directement ou indirectement un rôle dans ses activités et même dans certains cas bouleverseront ses activités.

J'en ai terminé, en espérant qu'en ce court laps de temps j'ai pu réussir la gageure de vous faire connaître l'intérêt des radio-éléments.

Il ne faut pas craindre les radio-isotopes et les radiations, il faut les respecter et ils sont sans danger.

L'industrie suisse est renommée, entre autres par sa qualité et sa précision ; les radio-isotopes doivent lui être d'une grande aide pour maintenir sa renommée.

SUR LE CALCUL DES DÉFORMATIONS EN HYPERSTATIQUE SPATIALE

par A. ANSERMET, ing.-prof.

Les lignes qui suivent sont en corrélation avec l'article du *Bulletin technique* du 2 décembre 1961. Elles portent surtout sur les systèmes articulés spatiaux quand le nombre des éléments surabondants tend à devenir élevé (voir [6]). Parmi les solutions développées dans la littérature statique, trois sont plus particulièrement envisagées ici ; désignons-les par A, B et C.

A la base de tout calcul de ce genre, on aura en général les équations aux déformations qui expriment les allongements ou raccourcissements des barres en fonction des variations des coordonnées des nœuds du système. Pour un nœud déterminé on peut avoir jusqu'à trois variations différentes de zéro et, pour une barre, jusqu'à six. De plus, comme on le verra, ces variations seront éventuellement fractionnées lorsque le calcul du système est lui-même fractionné ; la solution B surtout se prête à un tel mode de calcul lorsqu'on ajoute subséquemment des liaisons.

Solution A

Elle est traitée ici plutôt pour mémoire, car son intérêt est plus théorique que pratique au point de vue hyperstatique ; une des caractéristiques de A est d'éviter la coupure de barres surabondantes. Analytiquement on a, sous forme générale, pour chaque barre :

$$(1) \qquad a(dx - dx') + b(dy - dy') + c(dz - dz') = \\ = v = mT \qquad ([3] \text{ p. } 50\text{-}57)$$

où $a^2 + b^2 + c^2 = 1$, m est le module, T la tension.

Cette équation aux déformations ou aux v (ou aux T) est à mettre en corrélation avec la relation fondamentale connue :

$$(2) \qquad [pvv] = \text{minimum} = \sum \left\{ \frac{ES}{2L} \left(\frac{TL}{ES} \right)^2 \right\} \qquad (\text{voir } [6])$$

Les (dx, dy, dz) et (dx', dy', dz') sont les variations inconnues. Pour les déterminer on serait tenté de réaliser $[pvv]$ = minimum, mais on aboutirait à une impasse, car il n'y a pas de terme absolu dans (1) et les équations normales relatives au minimum n'auraient pas de tels termes. La difficulté fut tournée en ajoutant des équations d'équilibre qu'il ne paraît pas nécessaire de développer ici ; mais le nombre des inconnues peut devenir fort élevé ; il y a les T en plus des dx, dy ...

Les poids p interviennent par leurs valeurs relatives :

$$(3) \qquad p_1 : p_2 : p_3 \ldots = \frac{E_1 S_1}{L_1} : \frac{E_2 S_2}{L_2} : \frac{E_3 S_3}{L_3} \ldots$$

Les E sont les coefficients d'élasticité, les S et L les sections transversales et les longueurs des barres. Ces p sont les poids à priori qu'il ne faut pas confondre avec ceux à posteriori P dont il sera question plus loin. Cette notion de poids à posteriori se rattache à ce que l'on appelle parfois la seconde théorie de Gauss. C'est l'application du principe des moindres carrés qui donne lieu, pour les inconnues ou des fonctions de celles-ci, aux gains les plus élevés pour les poids.

La solution A fut transposée dans le plan (voir [3]) ; les nœuds sont alors matérialisés par des plaques infiniment minces. Les variations dz, pour chaque nœud, deviennent des grandeurs angulaires ; ce sont les rotations des plaques. Cette représentation plane s'applique surtout aux structures statiquement déterminées ; elle fournira les termes absolus f qui manquent dans l'équation (1). Celle-ci prend, en représentation plane, une forme qui n'est plus linéaire.

Solution B

Elle a ceci d'intéressant qu'elle constitue, à certains égards, un mode de calcul intérmédiaire entre A et C. Les coordonnées des nœuds varient et l'équation (2)