HAL
open science

Exemples d'applications industrielles de la radioactivité

J. Guéron

To cite this version:

J. Guéron. Exemples d'applications industrielles de la radioactivité. J. Phys. Phys. Appl., 1954, 15 (S5), pp.65-75. 10.1051/jphysap:0195400150506500 . jpa-00212622

HAL Id: jpa-00212622

https://hal.science/jpa-00212622

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LE JOURNAL DE PHYSIQUE
ET
LE RADIUM
PHYSIQUE APPLIQUÉE

EXEMPLES D'APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE LA RADIOACTIVITÉ

Par J. GUÉRON,
Directeur au Commissariat à l'Énergie atomique.

Sommaire. — On décrit quelques exemples d'applications industrielles de la radioactivité réalisées au C. E. A. : détermination de la position de racleurs dans des tuyauteries enterrées (au moyen de ^{60}Co), repérage de tuyaux de chauffage (au moyen de tungstate d'ammonium marqué au ^{187}W), mouvements de matière dans certains procédés industriels, fuites dans des câbles à maintenance sous pression; emploi des radioéléments en hydrologie; étude des aérosols, des filtres et des poussières fines; applications fondées sur l'absorption du rayonnement telles que les mesures de densité; analyse par activation ou par dilution isotopique, son application à l'étude des problèmes d'usure, à la détermination de traces d'impuretés en métallurgie, à l'analyse des gaz, aux méthodes de sondage nucléaire, au dosage de l'eau par ralentissement des neutrons.

Les emplois, industriels ou scientifiques, des radioéléments se fondent tous sur les propriétés essentielles suivantes :

1° les rayonnements émis sont ionisants;

2° l'absorption exponentielle de ces rayonnements est, en première approximation, fonction de la quantité de matière contenue dans l'absorbeur, mais indépendante de la nature de cette matière;

3° la sensibilité de détection est extrême;

4° le comportement physicochimique des atomes d'un même élément est, en première approximation, indépendant de leur masse isotopique; d'où la possibilité de « marquer » des molécules par variation de la constitution isotopique de leurs composants et de discerner entre espèces chimiques identiques d'origines variées, présentes à la fois dans un système. Ceci ouvre le champ à l'étude des métabolismes dans le sens le plus large du terme, qu'il s'agisse de phénomènes chimiques ou biologiques.

Une revue générale sommaire des applications serait ici déplacée; on la trouve d'ailleurs dans de nombreuses publications [1]. Je me propose de détailler quelques réalisations effectuées par le Commissariat à l'Énergie atomique en collaboration avec divers utilisateurs. En me bornant, sauf quelques allusions, aux réalisations de nos laboratoires, je ne prétends pas négliger ou déprécier ce qui a pu être fait par d'autres, en France, dans ce domaine, mais je veux m'efforcer d'indiquer, sur des cas précis, le type de services que l'on peut attendre de ces méthodes, et le genre de difficultés ou d'exigences qu'elles comportent (1). Certains de ces exemples sont nouveaux, d'autres sont de simples adaptations de méthodes déjà décrites.

1. **Repérage de position.** — *a.* DÉTERMINATION DE LA POSITION DE RACLEURS DANS DES TUYAUTERIES ENTERRÉES. — Les racleurs utilisés pour le nettoyage des tuyauteries (conduites de gaz ou de produits pétroliers) risquent de se bloquer dans ces pipes enterrées à des profondeurs de l'ordre du mètre, et leur recherche par les moyens courants peut entraîner des fouilles longues et coûteuses. Il était tentant de marquer ces pistons racleurs avec des porteurs de radiations pénétrantes et de les suivre en surface avec un appareil détecteur pour voir où ils se sont arrêtés.

On utilise le ^{60}Co qui ne pose guère de difficultés d'approvisionnement et dont le rayonnement γ est très pénétrant. L'intensité de ce rayonnement

(1) Un premier exposé de ce genre a déjà été fait il y a trois ans [2]; le présent article en constitue la suite; en particulier, il détaille et complète certaines études dont seule la phase préliminaire avait pu être mentionnée plus tôt.

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/jphysap:0195400150506500

est réduite de moitié, par une épaisseur de terrain qui, suivant le tassement et la nature de la roche, est de l'ordre de 7 à 10 cm. La réduction par 1 m de sol ou plus est donc de 2^{10} à 2^{14} au moins. Aussi, pour déterminer sur des trajets de plusieurs kilomètres, avec une vitesse de recherche appréciable et avec des chances convenables de détection, la position d'un racleur bloqué, faut-il utiliser des sources assez importantes, de l'ordre d'un demi-curie à plus d'un curie. Ceci exige, lors de la fixation des sources, au moment de l'introduction du racleur dans la canalisation comme à son éjection, des précautions assurant que le personnel ne reçoit pas de doses excessives de radiation.

Une servitude complémentaire consiste en la connaissance exacte du tracé. En effet, dès qu'on

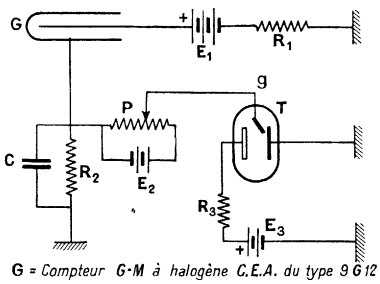


Fig. 1.

s'écarte de la verticale de la canalisation on augmente très sensiblement l'épaisseur de sol à traverser, donc l'absorption. Autrement dit, la sensibilité, qui peut être bonne à la verticale même de la canalisation, décroît très vite lorsqu'on s'en écarte de distances qui sont de l'ordre de la profondeur d'enfouissement. Toute tolérance sur ce point entraîne un sérieux renforcement de la source [3].

Enfin, si l'on veut suivre un racleur en marche (les vitesses courantes vont de 3 à 10 km/h), il faut disposer, en des points choisis du parcours, des observateurs munis d'instruments et être certain de l'attention soutenue de ces observateurs, ou trouver un système simple qui enregistre le passage de l'instrument. La figure 1 donne le principe d'un appareil de détection simple utilisé lors des essais de la ligne de transport des produits pétroliers Le Havre-Paris (2).

Le compteur G est enfoncé de 70 cm environ dans le sol à la verticale de la canalisation. Au passage de la source portée par le racleur, la tension aux bornes du circuit CR_2 augmente brusquement, amorçant la décharge dans la triode à cathode froide, T, qui reste alors allumée. Il suffit donc de disposer le long de la canalisation quelques appareils dont on relève à loisir les indications et que l'on réutilise en relais sur des sections successives.

b. Repérage de tuyaux de chauffage. — Dans le même ordre d'idées un des entrepreneurs chargés de la construction des laboratoires de Saclay nous a demandé de repérer par radioactivité les tubes de chauffage noyés dans le gros œuvre. Même lorsqu'on dispose des plans d'installation on n'est pas sûr de la position exacte des tubes. Les attaches qui les retiennent au ferraillage du béton jouent, il y a des effets de retrait du béton, et de sérieux dégâts sont à craindre si l'on est amené à reprendre des planchers ou des plafonds dans lesquels courent ces tubes.

Dans l'eau qui parcourt ces tubes (qui peut être froide lors de l'essai), il faut dissoudre un produit qui ne se fixe pas sur les parois (par hydrolyse et dépôt mécanique, par exemple). Ce produit doit avoir une radiation assez pénétrante pour traverser quelques centimètres de béton recouvert de plâtre ou d'un plancher quelconque, mais pas trop pénétrante car il faut un certain contraste dans l'image radioactive de la surface à explorer. Finalement on parvient à localiser à 1 cm près la position de l'axe des tubes de chauffage en utilisant comme traceur le tungstate d'ammonium marqué au ^{187}W ($T_{\frac{1}{2}} = 24{,}1$ h; rayonnements γ de 0,028, 0,136, 0,480, 0,626 et 0,681 MeV) à raison de 0,08 mC/l.

Le carbonate de sodium serait très tentant, mais le rayonnement du ^{24}Na (rayonnements γ de 1,38 et 2,76 MeV) est trop pénétrant.

Il faut évidemment utiliser un compteur diaphragmé linéairement par une bonne fente pratiquée dans une brique de plomb (de $13 \times 7 \times 4{,}5$ cm³). C'est un peu lourd pour explorer les plafonds, mais très commode pour les planchers chauffants.

c. Mouvements de matière dans certains procédés industriels. — De tels problèmes peuvent être aisément résolus par les radioéléments alors qu'on ne voyait même pas comment les aborder autrement. C'est ainsi que la Compagnie Saint-Gobain a réalisé l'examen de la circulation des charges dans les fours à verre [4].

De même, avec le Comptoir français des Textiles artificiels, nous avons suivi le cheminement de solutions à partir desquelles on file certaines fibres artificielles.

d. Fuites dans les cables a maintenance sous pression. — Nous avons étudié avec la Société Alsacienne de Constructions mécaniques les fuites de gaz dans les câbles téléphoniques à maintenance sous pression. Ces fuites, si elles ne sont pas rapidement décelées et réparées, constituent des points d'entrée d'eau qui peuvent détériorer de grandes longueurs de câble. Les canalisations téléphoniques

(2) Je remercie la Société T.R.A.P.I.L. qui nous a donné l'occasion d'effectuer ces essais.

semblaient se bien prêter à la détection de fuites par gaz radioactifs parce que les volumes morts sont assez faibles, et que, par suite, on pouvait espérer n'avoir jamais à mettre en jeu de grandes quantités de produits marqués. C'est-à-dire qu'on n'avait à craindre ni grandes difficultés d'approvisionnement ni grands risques de maniement.

Après quelques tâtonnements il nous a été possible de trouver un traceur convenable et de relever un certain nombre de fuites que l'on ne savait auparavant localiser [2], [5].

Le porteur doit répondre à un certain nombre de caractéristiques :

1° il doit être facile à préparer;

2° il doit avoir une radiation assez pénétrante;

3° il ne doit pas vivre trop longtemps pour ne pas contaminer de façon durable les terrains par lesquels il s'écoule;

4° il ne doit pas mourir trop vite : il lui faut du temps pour parvenir à la fuite, diffuser dans le sol et être repéré;

5° il doit être gazeux; si c'est une vapeur, elle ne doit pas se condenser dans les conditions du travail;

6° ce produit ne doit pas se fixer sur les constituants mêmes du câble et il ne doit pas les détériorer, mais

7° il doit se fixer sur le sol (3).

Un produit idéal, du moins dans nos climats, est le bromure de méthyle marqué au brome par ^{82}Br, $T_{\frac{1}{2}} = 35{,}9$ h.

Il permet, en injectant quelques grammes portant une trentaine de millicuries au plus, de déceler en quelques jours sur des trajets qui sont de l'ordre de plusieurs hectomètres à plusieurs kilomètres des fuites très faibles. La plus faible que nous ayons trouvée perdait à peu près un litre de gaz à l'heure, et avait échappé aux autres procédés de recherches pendant de nombreux mois.

La méthode ne s'est trouvée en défaut que dans un seul cas : la tranchée avait été comblée par des fragments de rocher, sans terre végétale en surface, et le bromure de méthyle ne s'y est pas fixé.

Sous sa forme la plus simple, le mode opératoire consiste à injecter le produit marqué en l'entraînant par de l'azote sous faible surpression (environ 15 pour 100 de la pression de régime). Au bout d'un certain temps (il est prudent d'attendre au moins 12h) on parcourt le tracé du câble avec un détecteur portatif, comme ceux qu'utilisent les prospecteurs. On trouve une tache radioactive grossièrement circulaire, axée en général sur la verticale de la fuite. Elle peut en être légèrement décalée si le mouvement du gaz est gêné soit par des différences de tassement du terrain, soit par l'intervention de l'enveloppe extérieure du câble. Le diamètre de la zone bien active est de l'ordre de 0,5 à 1 m.

Dans le cas de très faibles fuites, même assez proches du point d'injection, la fuite peut n'apparaître qu'après 48 h ou plus.

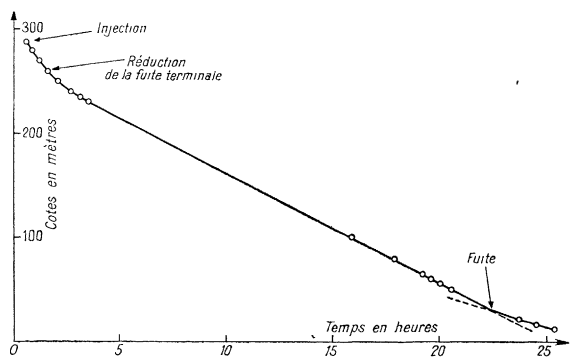


Fig. 2.

L'utilisation de gaz marqué a permis, d'autre part, de recouper aisément les mesures de volume mort du câble.

Nous avons également suivi la propagation du gaz injecté dans le câble.

Sur un câble non enterré de 300 m, une fuite extrêmement faible a été pratiquée à 30 m d'une extrémité. L'injection est faite à l'autre bout, et l'on suit la section radioactive du gaz à mesure qu'elle se déplace sous l'action de la surpression d'injection. Comme on pouvait s'y attendre, la vitesse de propagation est plus faible une fois la fuite dépassée (*fig.* 2) (4).

On peut donc en déterminer l'emplacement par l'intersection des droites de propagation. En fait, cette méthode peut être transposée sur le terrain. L'injection étant pratiquée en un point et à une heure donnés, si l'on a la possibilité, par des prises ou par des trous de sondage, de repérer le passage du front radioactif à des distances connues du

(3) Un gaz rare, par exemple, ne se fixera pas, et n'a aucune chance d'être détecté, comme le montre la figure relative à du xénon radioactif ([2], *fig.* 1). Ce fait réduit l'intérêt d'études comme celles de Gemant [6] qui traitent mathématiquement le problème dans l'hypothèse où le gaz radioactif se déplace par diffusion pure dans un sol homogène.

Le radon ne devrait pas se comporter de façon très différente d'un autre gaz rare, malgré son dépôt actif. La période du radon est assez longue pour qu'il ne meure pas avant d'atteindre la fuite, mais il vit trop longtemps pour bien marquer le sol qu'il traverse. Ses isotopes à vie courte sont trop fugaces. Cependant des publications danoises [17] décrivent la recherche de fuites à l'aide du radon. Des essais au radon ont vérifié notre opinion qu'il devait se comporter pratiquement comme le xénon. Des essais comparés au radon et au bromure de méthyle ont confirmé la supériorité du second, dont la trace superficielle est au moins dix fois plus durable.

(4) Une fuite terminale réglable permet d'aménager l'expérience de façon commode (cf. *fig.* 2).

point d'injection, on construit un diagramme analogue à celui de la figure 2 et l'on interpole la position de la fuite.

La précision de cette méthode est évidemment limitée par le fait qu'en s'éloignant du point d'injection la section marquée subit une diffusion générale et que le front radioactif est de moins en moins net. La figure 3 montre le passage du gaz marqué à environ 50 et 250 m du point d'injection dans les conditions de la figure 2.

Nous avons opéré ainsi dans un cas sur un câble en service où s'étaient manifestées des fuites minimes. Les résultats ont été bons, et recoupés par le repérage de la tache radioactive superficielle qui ne s'est manifestée, cette fois, qu'au bout de trois jours.

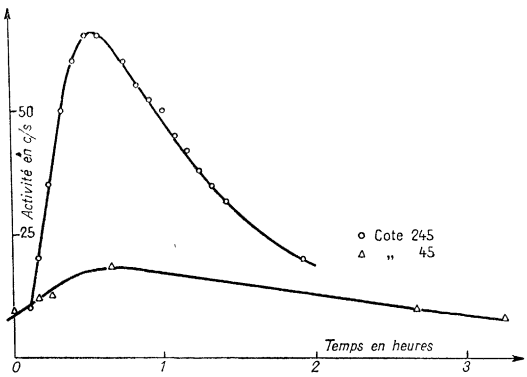


Fig. 3.

e. Fuites d'eau ou de gaz. — La technique précédente, commode pour des câbles de faible volume mort, indépendants de toute canalisation ramifiée dans les zones ou même les locaux habités, ne peut être généralisée sans précautions, ce que nous avons parfois un peu de mal à faire admettre aux intéressés. Aussi ne pouvons-nous pas nous occuper de fuites d'eau ou de gaz. Nous l'avons cependant fait dans un cas exceptionnel — il s'agissait d'un immeuble isolé et provisoirement inhabité — l'injection a été pratiquée dans des conditions analogues à celles de l'exemple précédent. Le volume mort des canalisations était de l'ordre de 2,8 l/m, et la fuite a été localisée en surface, le tuyau défectueux étant enterré à 0,60 m environ.

f. Emploi des radioéléments en hydrologie. Il est en principe possible de faire avec des produits marqués des expériences d'hydrologie. Mais celles-ci se heurtent à des difficultés très considérables.

Je ne connais pas de cas publié, dans le détail, de telles expériences. Un succès tout à fait remarquable a été rapporté par nos collègues anglais [7] qui, avec une assez faible activité — une centaine de millicuries de rubidium — semblent avoir établi certaines liaisons entre le Nil et des nappes d'eau situées dans son voisinage. Le parcours suivi a été d'une vingtaine de kilomètres, le facteur de dilution entre l'injection et l'émergence était de l'ordre du milliard; mais je crois que nos collègues ont profité avec beaucoup d'habileté d'un système détecteur très bien mis au point et d'une chance exceptionnelle. Le terrain dans lequel se mouvait leur indicateur était du sable de silice, extrêmement peu adsorbant. Il en va tout autrement lorsqu'on se trouve en présence d'alluvions ou d'humus et il est vain de se livrer à des expériences d'hydrologie sans des études préalables sérieuses, sous peine de discréditer la méthode.

Nous avons entamé ces études grâce au procédé de percolation couramment utilisé dans l'étude des sols. On fait couler à travers une colonne aussi représentative que possible des terrains dont la traversée est soupçonnée, une solution contenant, dans des conditions convenables, le produit que l'on veut essayer comme marqueur. La solution ayant traversé la colonne est examinée par fractions ou en continu.

Normalement on obtient des courbes en cloche du type de celles de la figure 4 où l'on a porté en abscisse le volume ayant traversé la colonne et en ordonnée la concentration du traceur (rapportée à sa valeur dans la solution initiale). La mesure de celle-ci par radioactivité est extrêmement commode et permet de faire rapidement des expériences qui, si elles devaient reposer sur l'analyse chimique, pourraient être longues et pénibles. Nous avons décrit antérieurement [2] l'interprétation qualitative de ces courbes et indiqué des résultats préliminaires, obtenus sur un sol donné. Les cations sont fortement retenus par le sol, ainsi que des anions complexes, et nous avions alors l'espoir que des molécules organiques, peu solubles dans l'eau, mais relativement peu polaires, pourraient constituer de bons traceurs. Ces espoirs ne se sont pas confirmés dans nos essais ultérieurs non plus que dans ceux faits par Buchan [8] au Royal College of Mines de Londres.

Par contre, nous avons obtenu des résultats satisfaisants avec des anions simples (5).

Les courbes de la figure 4 représentent les résultats obtenus en faisant percoler à travers une colonne de 1 m diverses solutions, en particulier des solutions de bromure et d'iodure de sodium marqués sur l'halogène. La courbe relative à de la fluorescéine à 100 mg/l part tard (signe de forte adsorption) et ne monte jamais haut. Le rendement de passage de la fluorescéine, à cette concentration élevée, a été de 15 pour 100 tandis qu'à la dose de quelques microgrammes par litre les bromures ou iodures nous

(5) Je tiens à noter ici l'influence, stimulante pour nous, des discussions du Congrès d'Oxford de juin 1951; *cf.*, en particulier, Aten [9].

ont donné des courbes partant beaucoup plus tôt et montrant des rendements de passage de 90 à 97 pour 100. Il s'agissait là d'alluvions argileuses et très fines.

Comme dans le cas des gaz, la courbe de passage s'étale à mesure que la distance augmente entre le point d'injection et le point de détection. La figure 5 montre, pour une même solution et un même échan-

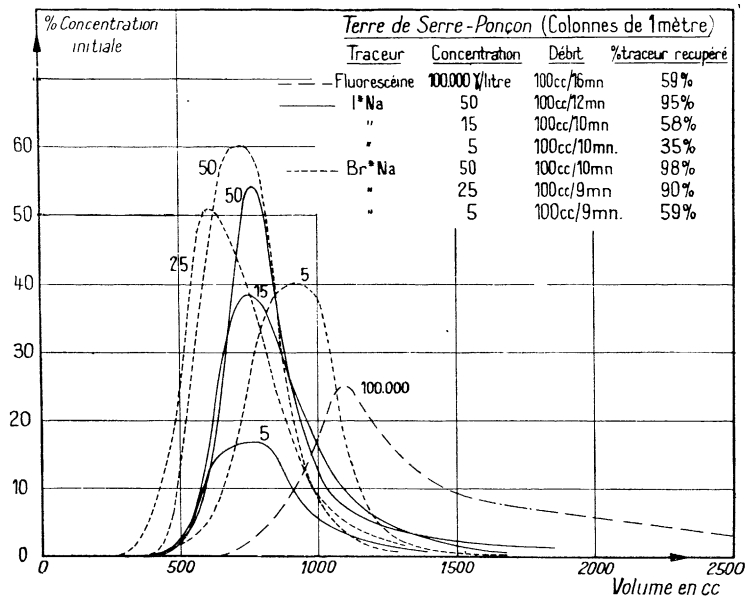


Fig. 4.

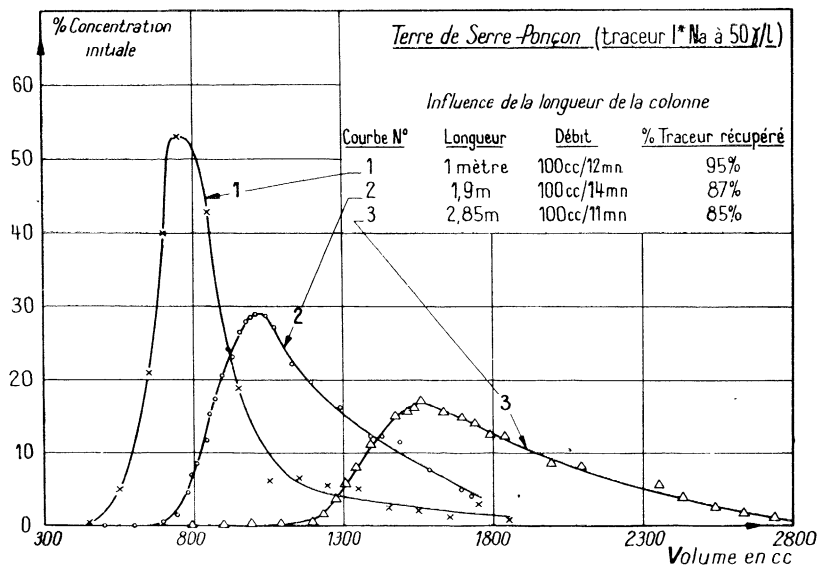


Fig. 5.

tillon de terre, les courbes d'élution obtenues sur des colonnes de 1, 2 et 3 m.

Tout ceci montre combien le risque d'échec est sérieux lorsqu'il s'agit de passer du laboratoire au terrain et de chercher des connexions ou des fuites à des distances de l'ordre de quelques centaines de mètres ou plus. L'Électricité de France et la Société Solétanche ([6]) ont cependant décidé de courir ce risque avec nous et une expérience a été tentée au site d'étude du futur barrage de Serre-Ponçon, sur la Durance.

([6]) Respectivement représentées par MM. Schneebeli et Brillant, ingénieurs, que je remercie de leur coopération.

En ce point, des essais de rabattement par pompage faisaient soupçonner une liaison entre un piézomètre foré sur la rive gauche de la Durance et une galerie profonde qui passe sous le lit de la rivière et dans laquelle existent des venues d'eau très considérables. Sur ce parcours de l'ordre d'une centaine de mètres, ce qui est assez faible évidemment en hydrologie, des expériences classiques de communication par coloration n'avaient pas réussi; on avait, en 1950, utilisé plusieurs dizaines de kilogrammes d'éosine sans trouver de résurgence après dix jours de pompage (cf. *fig.* 6, un plan simplifié des lieux).

Nous avons injecté les quantités maxima d'iodure

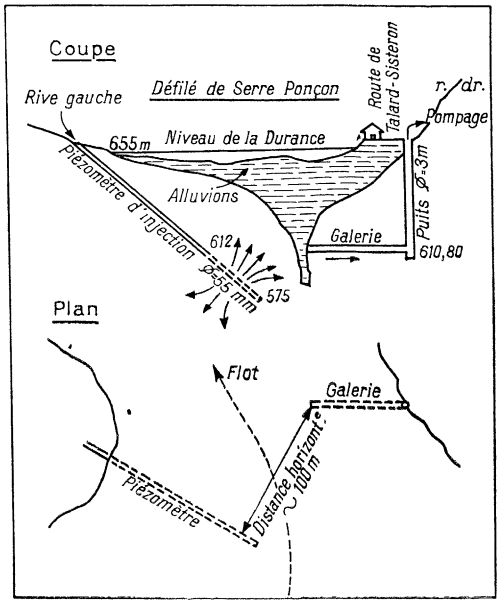


Fig. 6.

et de bromure de sodium radioactifs qu'Harwell pouvait mettre à notre disposition, c'est-à-dire 250 mC de ^{131}I $\left(T_{\frac{1}{2}} \sim 8 \text{ jours}\right)$, et un curie de ^{82}Br $\left(T_{\frac{1}{2}} \sim 36 \text{ h}\right)$, ce qui représentait, par suite des délais de transport, une commande de 1,6 C.

A ces traceurs étaient ajoutés 5 et 3,7 kg respectivement de bromure et d'iodure de sodium de façon à diluer le produit actif et à diminuer la perte par adsorption sur les terrains traversés. Le tout était dissous dans 25 l d'eau, et injecté sous pression (30 m d'eau) dans un piézomètre crépiné, de façon à pénétrer dans le sol à 70 m environ au-dessous du point d'injection. On rinçait ensuite rapidement avec environ 500 l d'eau.

L'eau de la galerie était pompée à raison de 3,5 m^3/mn, dont 15-20 l/mn étaient dérivés dans le dispositif de détection. Celui-ci était constitué par un récipient de 35 l, abrité par 5 cm de plomb, dans lequel plongeaient quatre compteurs à cathode de Pb, ayant une surface totale de 8 dm^2. Le volume du récipient et la disposition géométrique des compteurs assuraient le rendement optimum de comptage pour le rayonnement relativement mou de ^{131}I. Les compteurs attaquaient un intégrateur muni d'un enregistreur. On pouvait également faire des comptages ordinaires à l'aide d'une échelle de 100. Dans ces conditions, nous pouvions bien déceler 0,5 μC/m^3, représentant la dilution par un facteur de 10^7 environ de l'activité injectée.

A de telles dilutions, les quantités de traceurs inactifs injectées donnent des concentrations de quelques microgrammes par litre, décelables analytiquement, encore que la teneur courante en bromure et iodure de l'eau pompée puisse être de cet ordre de grandeur.

En fait l'activité apparut dans l'eau de pompage environ 24 h après l'injection; elle évolua comme le montre la figure 7 où sont également portées les concentrations en Br^- et I^-, déterminées après coup sur les prélèvements d'eau effectués de temps à autre (7).

Suivant les hypothèses faites sur la loi de réapparition du traceur, la proportion de la quantité injectée que l'on retrouve varie de 25 à 60 pour 100.

On peut donc considérer l'expérience comme réussie. Mais la radioactivité était-elle nécessaire, puisque des dosages relativement simples auraient pu suffire ?

Nos collègues de l'Électricité de France et de Solétanche estiment que, dans ce cas au moins, l'intérêt de pouvoir enregistrer le phénomène justifie la complication et la dépense qu'entraînent l'achat et le transport des traceurs, ainsi que le transport des instruments de détection et des opérateurs.

Je me suis un peu étendu sur cette expérience parce que sa description constitue, à ma connaissance, le premier compte rendu détaillé de telles applications hydrologiques. Il ne faut pas se faire illusion sur ce succès, obtenu de justesse, sur parcours extrêmement réduit.

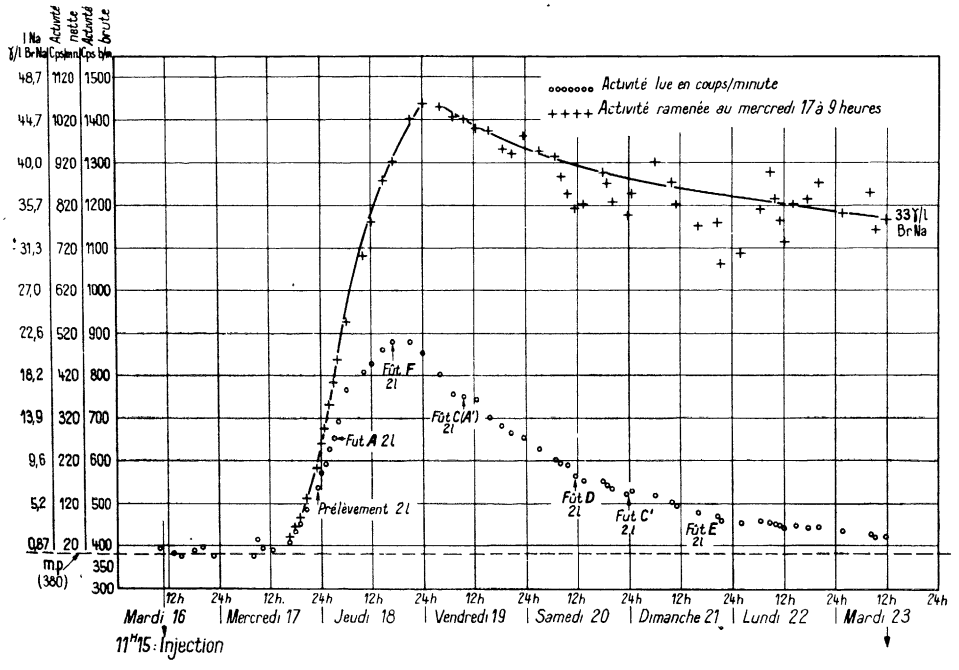
La généralisation de cette méthode n'est certainement pas automatique et demandera dans tous les cas beaucoup de soin et d'expériences préalables. Si l'on voulait s'occuper de trajets plus longs, comme cela se produit souvent, en particulier dans les études hydrologiques en pays peu connu ou de géologie compliquée, on serait amené à utiliser des traceurs à vie beaucoup plus longue, à en utiliser des intensités considérables, ce qui pose non seulement des questions d'approvisionnement, mais le problème d'éventuelles contaminations insoupçonnées que l'on ne peut pas considérer à la légère

(7) L'activité provient du ^{82}Br seul, par suite d'une défectuosité chimique dans la livraison de ^{131}I utilisée. Cette défectuosité a été signalée à Harwell par d'autres utilisateurs ayant reçu des portions d'iode du même lot.

du point de vue de l'hygiène publique. Aussi devons-nous, souvent, décourager ceux des utilisateurs de radioéléments qui voudraient s'attaquer à des problèmes de ce genre (8).

D'autres possibilités n'ont pas encore été expérimentées. L'une consiste à utiliser des traceurs non actifs comme les bichromates, préconisés par Dodero [27] et, sur des prélèvements, à déceler ceux-ci en quantités infimes, au moyen de l'analyse par activation (*cf.* plus bas). L'emploi de tritium, traceur isotopique de l'hydrogène, semble théoriquement idéal, mais la mesure, et surtout la recherche continue du tritium, dont la radiation est extrêmement peu pénétrante, pose des problèmes sérieux de réalisation.

g. Étude des aérosols, des filtres et des poussières fines. — Les méthodes radioactives permettent de marquer avec beaucoup d'efficacité des poussières très fines. Dès maintenant les aérosols d'oxyde d'uranium sont couramment employés pour mesurer l'efficacité des filtres d'air. Les études poursuivies au Commissariat à l'Énergie atomique par M. Labeyrie [10], [11] ont montré tout l'usage que l'on pouvait faire de la radioactivité dans les recherches sur les aérosols, les filtres, et surtout les poussières extrêmement fines.



Activités dans le puits 1913

Fig. 7.

2. **Applications fondées sur l'absorption du rayonnement.** — *a.* Jauges d'épaisseur. — 1° Vous avez pu voir dans les salons de la Sorbonne, un grand nombre d'appareils dits « jauges d'épaisseurs », qui permettent la détermination (ou même la vérification continue en cours de fabrication) des épaisseurs de films divers, qu'il s'agisse de papier, de cuir, de tôle, etc. Ce sont maintenant des appareils commerciaux courants et l'on dispose, suivant le produit à contrôler, d'une gamme de sources dont le rayonnement est plus ou moins pénétrant [12]. Le plus souvent, ce sont des appareils par transmission; la source et le détecteur sont de part et d'autre de la feuille à mesurer. Il peut souvent être commode de travailler par rétrodiffusion. La source et le détecteur, placés du même côté de l'objet à examiner, sont séparés par un écran suffisant pour rendre négligeable l'effet du rayonnement direct. L'intensité du rayonnement rétrodiffusé augmente avec l'épaisseur, à peu près linéairement d'abord, puis de plus en plus lentement. L'appareillage est souvent plus délicat que lorsqu'on opère par transmission. Des applications importantes ont été mises au point par Brachet [13] au Laboratoire central des Constructions navales. On se trouve limité

(8) Depuis que ce texte a été préparé nous avons procédé, en commun avec l'Électricité de France et l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie de l'Université de Paris (MM. P. Urbain et M. Geslin), à une expérience où le trajet soupçonné était d'environ 20 km. Aucune résurgence n'a été constatée sept semaines après l'injection, ce qui ne permet pas de conclure.

pour appliquer cette méthode aux objets d'épaisseur assez grande. Il faut évidemment utiliser un rayonnement pénétrant, ce qui exige un bon isolement entre le détecteur et la source; autrement dit, si l'on n'a pas la place de passer derrière l'objet à étudier, il faut avoir beaucoup de place devant lui; nous avons pour cette raison échoué dans des tentatives d'application de cette méthode de rétrodiffusion (9).

2° A la demande de l'Électricité de France, et en collaboration avec un de ses ingénieurs, M. Leterrier, nous avons préparé un appareillage pour la mesure continue de la quantité de neige tombée en montagne.

Le principe, connu [24], en est l'absorption du rayonnement γ d'une source de ^{60}Co par la neige interposée entre celle-ci et le détecteur. Nous avons cherché à simplifier au maximum le montage.

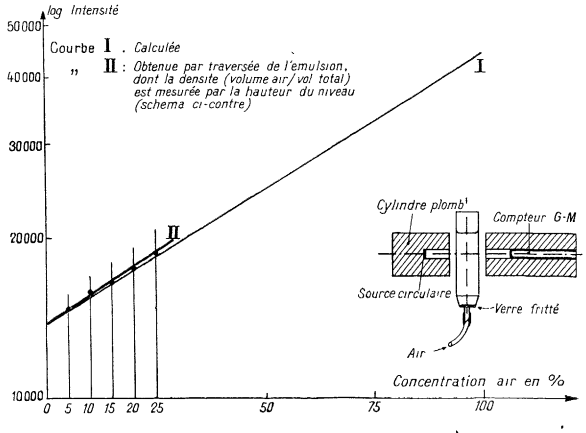


Fig. 8.

La source (100 mC de ^{60}Co) enfouie dans le sol (20 cm de profondeur) est diaphragmée par du plomb de façon que le faisceau γ couvre juste le compteur. Celui-ci, à remplissage d'halogène, est alimenté sous 400 V seulement. Il reste utilisable même lorsque la température s'abaisse jusqu'à —50°C et peut débiter assez d'électricité pour charger une capacité de 0,1 à 1 μF jusqu'à un potentiel de 1 V. La durée nécessaire pour atteindre ce potentiel est enregistrée à intervalles de temps donnés. Cette durée est d'autant plus grande que la masse de neige est plus considérable, et l'instrument peut aisément être gradué « en épaisseur d'eau ». Le détail des essais et de l'appareillage sera publié plus tard [25].

(9) Un mode ingénieux de détection vient d'être proposé par Putman [14] et promet d'étendre le champ d'application de la méthode. Le rayonnement diffusé ayant une énergie plus faible que le rayonnement incident peut être discerné de celui-ci en utilisant comme détecteur un cristal suivi d'un photomultiplicateur et d'une électronique à discrimination. Il n'est plus alors nécessaire d'isoler la source du détecteur.

b. Mesures de densité. — Nous examinons, actuellement, avec les laboratoires de l'Électricité de France, une canalisation où circule de l'eau qui peut entraîner des bulles d'air. Le problème posé est double :

1° repérer la présence d'air en quantité appréciable;

2° voir, si possible, quelle en est la distribution.

En principe, avec une source et un détecteur convenablement diaphragmés, il n'est pas difficile de voir si l'intensité transmise est plus grande en marche courante que lorsque la tuyauterie est complètement remplie d'eau immobile, et en promenant l'ensemble source-détecteur très rigidement monté le long de la canalisation, il est possible d'avoir quelque idée de la répartition des bulles d'air emportées par le liquide.

L'étude préalable a été faite avec des tubes de verre, puis de matière plastique, comportant une plaque de verre fritté ou un dispositif capable de diviser un courant d'air en bulles suffisamment fines. Le pourcentage d'air est mesuré par l'élévation du niveau apparent de l'eau dans le tube. On mesure la variation d'absorption du rayonnement (la source pouvant être ^{198}Au ou ^{60}Co). La droite 1 représente l'absorption calculée et la droite 2 celle mesurée lorsque l'eau contient, en volume, les pourcentages d'air portés en abscisse (*fig.* 8). Nous avons procédé ensuite à des essais pilotes sur une canalisation de 90 cm de diamètre montée de façon à permettre des mesures pneumatiques. La source (75 mC de ^{60}Co) et le détecteur étaient diaphragmés par des cylindres de plomb de 25 cm de longueur et de 12 cm de diamètre, percés d'une lumière de 2 cm. Le tout était solidement fixé. Pour des concentrations d'air comprises entre 5 et 14 pour 100 (en volume), les mesures pneumatiques et radioactives ont concordé à $\pm$ 5 pour 100 près (en valeur relative).

Dans tous les problèmes de ce genre, il n'y a pas de difficultés de principe. Quelques finesses de réalisation portent toujours sur la définition des faisceaux; on ne peut pas focaliser les radiations; on est donc toujours appelé à avoir des pseudo-focalisations par diaphragme, avec la complication inévitable correspondante de l'emploi de sources assez considérables.

3. **Analyse par activation ou par dilution isotopique.** — Le principe des méthodes d'analyse par activation ou par dilution isotopique est bien connu [1 *b*], [1 *d*], [1 *i*]. Je vais en indiquer quelques exemples, en rappelant que les journaux (puisqu'il s'agit souvent de journaux, en matière de science nucléaire appliquée) ont beaucoup parlé à un moment donné d'analyses toxicologiques d'arsenic par activation à la pile [16].

a. Application de l'analyse par activation a l'étude des problèmes d'usure. — L'analyse par activation permet, grâce à sa sensibilité, d'aborder aisément et rapidement l'étude des problèmes d'usure; dans les études courantes d'usure, on est souvent amené à prolonger les essais, simplement pour atteindre le seuil de détection de la matière à doser. Si une des pièces qui s'use contre une autre est radioactive, les limites de détection sont beaucoup plus faibles (souvent bien inférieures au microgramme). On peut donc faire des mesures assez rapides. On arrive même à des mesures d'usure sur des produits dont *a priori* on ne penserait pas qu'ils soient activables. M. Ezran, qui préparait une thèse sur l'usure et en particulier sur l'usure des engrenages de matière plastique, fut amené à faire un stage au Commissariat à l'Énergie atomique. Dans des expériences extrêmement courtes, où les essais d'usure proprement dits ne duraient pas au total plus d'un jour ou deux — et pouvaient même être utiles à partir de quelques heures — il a été en mesure d'étudier l'usure des engrenages plastiques, parce qu'il s'est trouvé que ceux-ci contiennent un peu de chlorure de sodium. On décèle très nettement, après passage à la Pile, l'activité du chlore et celle du sodium. La courbe d'usure en fonction du temps acquiert une pente régulière après une période initiale d'usure plus rapide qui fait ainsi nettement apparaître le rodage [15].

b. Analyse par activation des traces d'impuretés en métallurgie. — Je voudrais mentionner, sans m'y attarder, les expériences importantes qui se font actuellement en métallurgie, en particulier au laboratoire de M. Chaudron, sur les métaux légers extrêmement purs. Des traces d'impuretés ont été identifiées par leur activité, dosées par l'intensité de cette activité. De plus leur répartition peut être mise en évidence par une combinaison de métallographie classique et d'autoradiographie. On a pu ainsi montrer que, dans certains cas, des traces infimes d'impuretés n'étaient pas en solution solide, mais se déposaient à la limite des cristaux [18]. C'est là une méthode d'étude extrêmement élégante et pénétrante. De même diverses études sur la diffusion des impuretés dans les métaux ferreux ont été effectuées à l'Institut de Recherches de la Sidérurgie en collaboration parfois avec le Commissariat [19].

c. Analyse de gaz. — Les courants d'ionisation obtenus dans l'atmosphère à pression réduite d'une chambre à ionisation contenant une source α dépendent à la fois de la pression et de la nature du gaz. Le dispositif peut donc être utilisé soit comme manomètre, soit comme analyseur, après étalonnage convenable [26].

d. Méthodes de sondage nucléaire. — La radioactivité étant évidemment un moyen de déceler les éléments radioactifs, c'est sur elle que se fonde en bonne partie la prospection des minerais radioactifs et le Commissariat, a dû mettre au point un important matériel de sondage [20].

Mais ce n'est pas à la détection des seuls minerais radioactifs que ces méthodes de sondage nucléaire peuvent être appliquées. Les appareils sensibles au rayonnement extérieur peuvent être accompagnés de sources de rayonnements, en particulier de neutrons. Les neutrons émis diffusent dans le sol au voisinage du trou de sonde, ils y sont plus ou moins ralentis suivant la constitution des terrains et sont capturés par les éléments avides de neutrons lents. Il en résulte des rayons γ de capture, qui peuvent être décelés.

Lorsqu'on compare dans un même sondage les

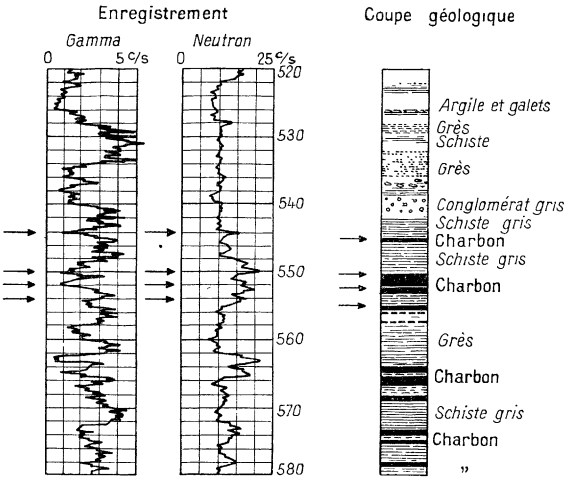


Fig. 9.

relevés d'activité naturelle avec les relevés d'activité par sources de neutrons, on peut avoir des indications extrêmement précieuses. C'est ainsi que les équipes du Commissariat ont pu montrer que les filons charbonneux décelés par examen minéralogique des carottes de sondage se marquaient extrêmement bien sur les sondages nucléaires. Leur émission γ spontanée est très faible, mais une très forte émission γ de capture neutronique ([10]) se manifeste aux niveaux carbonifères.

C'est ce que montre la figure 9 [21].

Ces méthodes, ainsi que la généralisation des méthodes de cartographie radioactive par exploration aérienne [22], devraient trouver d'importantes applications dans le domaine de la prospection en général.

e. Dosage de l'eau par ralentissement des neutrons. — On peut doser l'eau contenue dans

([10]) L'hydrogène est de loin le plus efficace des ralentisseurs de neutrons; le carbone est un ralentisseur de moins bonne qualité.

un terrain, dans un béton, en se fondant sur la capture dans un détecteur approprié des neutrons ralentis par elle ([11]).

Une source de neutrons entourée par exemple d'un cylindre d'indium est introduite dans le milieu aquifère. Les neutrons rapides, émis par la source, diffusent dans le sol, sont ralentis, et un certain nombre d'entre eux revenant vers l'assemblage à l'état de neutrons épithermiques et thermiques, sont absorbés par l'indium ou tout autre détecteur de neutrons lents [23]. La densité de neutrons lents est proportionnelle à la teneur du ralentisseur (l'hydrogène) dans le milieu étudié.

Mais les neutrons lents étant extrêmement susceptibles d'être capturés par toutes sortes d'éléments, les résultats dépendent non seulement de la teneur en eau du sol, mais aussi des autres éléments

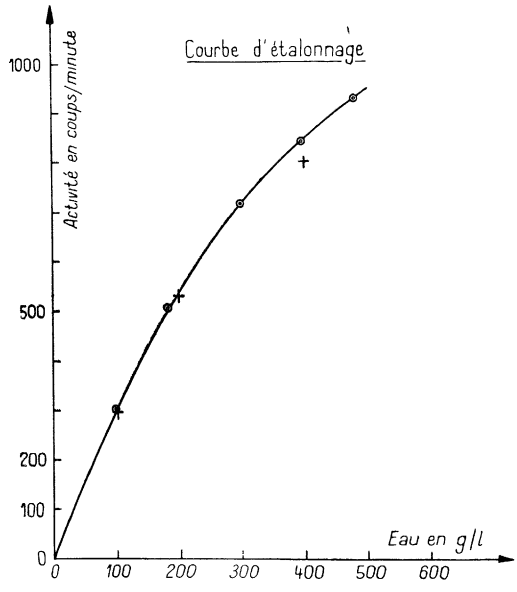


Fig. 10.

présents. On peut s'affranchir de cette difficulté en cherchant à déceler non pas les neutrons lents, mais ceux qui sont en cours de ralentissement. Il suffit d'utiliser comme détecteur la même feuille d'indium placée en sandwich entre deux feuilles de cadmium. L'indium n'est plus alors affecté que par les neutrons épithermiques, pour lesquels il présente une forte bande d'absorption (à 1,0 eV). Comme les constituants ordinaires du sol, éléments légers, n'ont pas de résonance marquée, la méthode devient beaucoup moins sensible à la nature du milieu aquifère.

La figure 10 donne une courbe d'étalonnage où l'on a porté, dans des conditions standard d'irradiation — nous employons une source de 50 mC de radium-béryllium — l'activité obtenue sur le cylindre d'indium protégé par du cadmium, comptée en impulsions par minute dans un dispositif de comptage déterminé, en fonction de la teneur en eau. Dès que celle-ci atteint 100 g/l, la précision est convenable.

De plus on voit que de la silice (points ronds) et de la baryte (croix) humides donnent la même courbe d'étalonnage alors que la seconde est, à poids égal, environ dix fois plus avide de neutrons lents que la première (*fig.* 10).

Cette méthode ne permet pas des mesures immédiates sur le terrain; elle n'est pas absolue car les densités de sol, en particulier, peuvent intervenir; elle est moins sensible que si l'on employait les neutrons thermiques. Mais le problème de la détermination de l'humidité du sol nous a été posé à diverses reprises et l'avenir dira quelle variante de la méthode satisfera le mieux les utilisateurs.

***

La plupart des applications qui viennent d'être décrites ont été réalisées (avec la participation parfois d'autres organismes cités dans le texte) par divers services du Commissariat à l'Énergie atomique.

Y ont pris part, en particulier, le Service des Constructions électriques (MM. Surdin, Labeyrie, Lallemant), ceux de Chimie Physique (MM. Hering, Lévêque, Hours), de Physique nucléaire (Mme Faraggi) et la Section des Radioéléments (M. C. Fisher). Mes collègues et moi ne prétendons à aucune originalité fondamentale pour ces exemples assez divers. Le présent exposé ne se justifie que par l'intérêt général des méthodes utilisant la radioactivité et par la nécessité, à un moment où ces méthodes ne sont pas encore généralement appliquées, de montrer sur des exemples concrets ce qu'elles permettent d'obtenir, quelles difficultés elles comportent et quel genre d'études et de mises au point elles demandent.

([11]) En toute rigueur c'est l'hydrogène qui est ainsi dosé, quelle que soit la forme chimique sous laquelle il se trouve.

Manuscrit reçu le 19 janvier 1954.

BIBLIOGRAPHIE.

[1] Exposés d'ensemble :

a. Aebersold P. et de Wiggin E. — *J. Chem. Ed.*, 1953, **30**, 229.

b. Radioisotope Techniques. *Isotope Techniques Conference*, Oxford, 1951, vol. II, H.M.S.O., Londres, 1952.

c. Eastwood W. S. — *Research*, 1952, **5**, 399.

d. Smales A. A. — *Atomics*, 1953, **4**, 55.

e. Zimen K. E. — Angewandte Radioaktivität, Springer, 1952.

f. Bradford. — Radioisotopes in Industry, Reinhold, 1953.

g. IRVINE S. W. Jr. — *Anal. Chem.*, 1949, **21**, 364.
h. HAISSINSKY M. — *Industrie Nationale*, avril-juin 1950, p. 37.
i. HUDGENS J. E. — *Anal. Chem.*, 1952, **24**, 1704.

[2] GUÉRON J. — *Nucleonics*, 1951, **9**, 53; *cf.* aussi [1 *b*], p. 6.
[3] CONDIT R. I. et GRAVES J. D. — *Nucleonics*, 1952, **10**, 18.
[4] PEYCHÈS I. — *Silicates industriels*, août-septembre 1952, p. 241.
[5] GUÉRON J. et PAGÈS A. — *Câbles et Transmissions*, janvier 1952, p. 96-102.
[6] GEMANT A. — *J. Appl. Phys.*, 1951, **22**, 460; 1953, **24**, 93.
[7] FEARNSIDE. — *Cf.* [1 *b*], p. 14.
[8] BUCHAN S. — Communication personnelle.
[9] ATEN. — *Cf.* [1 *b*], p. 15.
[10] LABEYRIE J. et PELLÉ M. — *J. Physique Rad.*, 1953, **14**, 477.
[11] LABEYRIE J. — *Thèse*, Paris, 1953.
[12] SYKE G. — *Cf.* [1 *b*], p. 144-159.
[13] BRACHET C. — Association Technique Maritime et Aéronautique, session de 1950.
[14] PUTMAN J. L. — Communication personnelle.
[15] EZRAN. — *C. R. Acad. Sc.*, 1952, **234**, 1947; *Rev. gén. Méc.*, 1952, **48**, 381; *Thèse d'ingénieur-docteur*, Paris, 1952; cf. *Nucleonics*, 1952, **10**, 67.
[16] GRIFFON H. et BARTAUD J. — *Atomes*, mars 1953, p. 75; *C. R. Acad. Sc.*, 1951, **232**, 1455; *Ann. Pharm, Fr.*, 1951, **9**, 545.
[17] BORCK et NANNESTAD L. — *Teleteknik*, janvier et juillet 1951.
[18] ALBERT P., CARON M. et CHAUDRON G. — *C. R. Acad. Sc.*, 1951, **233**, 1108; 1953, **236**, 1030; *cf.* [1 *b*], p. 171.
[19] KOHN A. — *Rev. Métall.*, 1951, **48**, 219; *Documentation métallurgique*, janvier, février, mars 1953, etc.
FARAGGI H. — *C. R. Acad. Sc.*, 1951, **232**, 959; 1952, **235**, 714.
[20] BERBEZIER J., CHAMINADE R. et LALLEMANT C. — *Ann. Géophys.*, 1952, **8**, 261 et 314.
[21] BERBÉZIER J. — *Onde Électrique*, 1953, **33**, 553.
[22] *Voir*, entre autres, U. S. Atomic Energy Commission. *Semiannual reports to Congress*, 1952, **12**, 4; 1953, **13**, 7.10; 1953, **14**, 7.
[23] LANE D. A., TORCHINSKY B. B. et SPINKS J. W. T. — *Eng. J.*, 1953, p. 2.
[24] DOREMUS J. A. — *Electronics*, 1951, **24**, 2 et 88.
[25] LETERRIER et LÉVÊQUE P. — A paraître.
[26] GIMENEZ C. et LABEYRIE J. — *J. Phys. Rad.*, 1951, **12**, 64 A.
[27] DODERO. — *C. R. Acad. Sc.*, 1952, **234**, 1462.
GUNTZ A. — *C. R. Acad. Sc.*, 1953, **236**, 2423.