

o-Stellung zu solchen «gestörten» CH₃-Gruppen treten die oben erwähnten kurzreichweitigen Einflüsse auf.

Die vorliegende Arbeit wurde durch Beiträge des SCHWEIZERISCHEN NATIONALFONDS unterstützt. Wir sind Prof. Dr. P. HUBER für seine stetige Unterstützung sowie Dr. H. G. LEEMAN (SANDOZ AG) für das Herstellen sämtlicher chemischer Präparate zu grossem Dank verpflichtet.

SUMMARY

The effects of substituents on ring protons as well as on methylgroups in mesitylenes and durenes are compared with substitution effects in benzene.

At the *para* ring proton position the differences are small, as long as the steric inhibition of mesomerism is not important. For the substituent NO₂ in durene the inhibition is found to be between 90 and 100%.

At the *meta* ring proton position of substituted mesitylenes we have detected large deviations from the benzene substitution effects, especially for halogens. These deviations are attributed to a direct interaction of unknown nature between the substituents and the *ortho* methyl group.

The chemical shifts of methyl groups in the *meta* position of substituted durenes are found to depend linearly on the *meta* ring proton shifts in substituted mesitylenes. Similarly the chemical shifts of *ortho* methyl groups in substituted mesitylenes and durenes are linear functions of benzene *ortho*-substitution effects.

Physikalisches Institut der Universität Basel

49. Recherches sur l'accumulation et la toxicité du radium et du radiostrontium dans le corps humain. II¹⁾

L'anthropogammamètre (Whole Body Counter) de Genève

par Pierre Wenger et Charles E. Miller²⁾

(14 XII 62)

Introduction. – L'utilisation des radioéléments en médecine et dans l'industrie pose le problème de la contamination interne de l'Homme et de la dose limite acceptable de cette contamination.

Le radium a servi de base pour la définition de la dose limite dans les études de contamination, définition basée sur l'examen d'un nombre limité de cas de personnes ayant subi soit des injections de radium, soit des ingestions de radium il y a 30 à 40 ans aux Etats-Unis.

La dose de tolérance est censée représenter la quantité maximum d'un isotope, tolérée par un organisme humain, sans effet nocif. Pour l'apprécier, les effets cliniques observés doivent être confrontés avec la quantité initiale de substance déposée, celle-ci

¹⁾ Ce travail a été effectué avec l'aide de l'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE à Vienne, la COMMISSION POUR LA SCIENCE ATOMIQUE à Berne et le SERVICE FÉDÉRAL DE L'HYGIÈNE PUBLIQUE à Berne.

²⁾ Argonne National Laboratory, Illinois, U.S.A. Le travail de cet auteur a été effectué sous les auspices de la U. S. ATOMIC ENERGY COMMISSION.

ne pouvant en général être calculée que sur la base d'une mesure effectuée plusieurs années après le dépôt. Ce calcul suppose donc la connaissance de la courbe de rétention du radium chez l'Homme. Or, celle-ci n'est pas connue avec une certitude suffisante. Il est donc très important qu'un certain nombre de personnes soient actuellement étudiées avec grand soin afin d'établir cette courbe de rétention avec la précision maximum compatible avec la possibilité de variations individuelles.

En raison du nombre d'années impliquées dans cette recherche, il n'est guère possible de choisir une personne unique ayant ingéré du radium récemment et de doser chez elle la rétention du radium au cours des 30 à 40 prochaines années. Mais une courbe de rétention moyenne, couvrant cet espace de 30 à 40 ans, pourra être obtenue au cours des cinq prochaines années si un choix approprié de personnes sont étudiées. Il suffira à cet effet que chez un certain nombre d'individus ayant ingéré du radium pendant un temps relativement court et à des époques arrivées lors de ces 40 dernières années, le radium retenu soit dosé. Des humains présentant ces caractéristiques quand à l'absorption de radium se rencontrent en Suisse parmi les ouvriers et ouvrières de l'industrie horlogère, travaillant avec des peintures luminescentes. Un groupe de quelques centaines de ces ouvriers sur cadrans sont mesurés actuellement par nos soins en vue d'une détermination de la quantité de radium retenue dans leur corps. On prend note également de l'histoire de leur travail afin de sélectionner les sujets utiles à une étude ultérieure. Le groupe sélectionné sera mesuré à intervalles réguliers à l'anthropogammamètre de Genève. On procède également à l'anamnèse médicale et on prend des radiographies du squelette.

Le présent mémoire traite de la construction et de l'étalonnage de l'anthropogammamètre et cite une première série de résultats. D'autres publications seront consacrées à l'examen détaillé des résultats obtenus, du point de vue médical et épidémiologique.

Pour doser les radiocontaminations internes des sujets choisis, nous avons adopté l'anthropogammamétrie (Whole Body Counting) telle qu'elle a été réalisée par l'un de nous (C. E. M.³⁾), ainsi que l'évaluation du radon exhalé par le sujet, à l'aide de la mesure de l'activité du rayonnement alpha au moyen d'un scintillateur en ZnS(Ag). Cette dernière technique sera décrite dans un prochain mémoire.

Description de l'anthropogammamètre de Genève. – Pour pouvoir estimer des doses de l'ordre de grandeur des dépôts radioactifs naturels chez l'Homme ($0,5 \cdot 10^{-8}$ à $2 \cdot 10^{-8}$ μC de ^{40}K), il est nécessaire d'utiliser un gros cristal à scintillation et de travailler dans une enceinte protectrice.

Notre enceinte protectrice est une chambre d'acier, de construction démontable. Elle comporte un plancher, 4 parois verticales et un plafond. Les dimensions intérieures sont $1,9 \times 2,7$ m. La hauteur est de 2,34 m. Son poids est de 50 tonnes. La chambre est composée de poutres de 18×18 cm. Cette épaisseur a été choisie en fonctions d'études précédentes de l'un de nous³⁾.

Pour avoir du fer aussi peu radioactif que possible, nous avons choisi de vieux rails des Chemins de fer fédéraux, datant d'avant 1930. Ces rails ont été coulés en poutres pour nous, dans un four neuf, par les Fonderies VON ROLL S.A.⁴⁾.

³⁾ C. E. MILLER *et al.*, The use of Low Level scintillation spectroscopy in the evaluation of radioactive contamination of the human body, RISO Symposium, Denmark, May 25–29, 1959.

⁴⁾ Le contrôle de la radioactivité a été effectué sur le fer, avant la fonte, et sur le matériel constituant le four, par l'INSTITUT FÉDÉRAL DE RECHERCHES EN MATIÈRE DE RÉACTEURS à Würenlingen.

Les poutres, protégées des retombées radioactives, ont été usinées par les Ateliers JONNERET S.A. à Genève et munies de rainures longitudinales de 90×5 mm afin de leur permettre de s'emboîter les unes dans les autres. Le même procédé a été employé pour les poutres de la porte. Celle-ci s'emboîte également dans le cadre de l'une des petites parois, munie d'un double encastrement. Du fait de cet encastrement il n'existe pas de fente rectiligne entre l'intérieur et l'extérieur de la chambre, ce qui empêche toute pénétration de rayonnement extérieur direct.

La porte, d'une hauteur de 1,98 m et d'une largeur de 0,80 m, pèse 2,5 tonnes. Grâce à une suspension étudiée avec soin, sa rotation peut être provoquée par la force d'appui d'un seul doigt, ce qui évite tout autre mécanisme. La porte peut être ouverte aussi bien de l'extérieur que de l'intérieur de la chambre.

La chambre a été nettoyée soigneusement au trichloréthylène, puis passée à l'aspirateur. Ce travail a permis d'enlever environ 500 cpm au mouvement propre entre 100 keV et 2000 keV. Ensuite la chambre a été recouverte intérieurement de 2 mm de plomb particulièrement peu radioactif provenant de Sala Silvergruva, en Suède. Le plomb sert à absorber les rayons secondaires produits et diffusés dans le fer. L'adjonction du plomb a enlevé encore environ 600 cpm dans la même bande d'énergies. Le mouvement propre décelable actuellement dans la chambre, avec notre cristal de 20,3 cm de diamètre sur 10,2 cm d'épaisseur, est de 880 cpm entre 100 et 2000 keV.

La chambre d'acier peut se démonter facilement si pour une raison quelconque elle doit être changée d'emplacement, car toute la visserie est limitée à l'encadrement de la porte et aux charnières. Pour le reste, elle tient ensemble par la conception de sa construction et son propre poids.

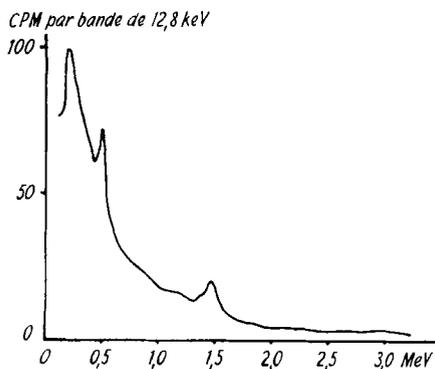


Fig. 1. Spectre de mouvement propre gamma de la chambre utilisée

Le cristal. Nous travaillons avec un seul cristal de NaI(Tl) provenant de HARSHAW. Ce cristal, cylindrique, a un diamètre de 203 mm et une hauteur de 102 mm. Il est entouré d'une enveloppe de 0,05 mm de cuivre électrolytique et surmonté de 3 tubes photomultiplicateurs de 76 mm de diamètre, type DUMONT 6363, de faible radioactivité et équilibrés entre eux. Ces tubes sont munis d'une protection magnétique HARSHAW.

Le cristal donne une résolution spectromagnétique de 7,3% pour la raie gamma de 1,46 MeV de ^{40}K et de 10% pour la raie gamma de 0,661 MeV du ^{137}Cs . Le mouvement propre intégral gamma de 0,1 à 2 MeV est de 880 cpm. Un spectre de mouvement propre est indiqué à la figure 1.

Le cristal est fixé à l'extrémité d'un bras supporté par un chariot. Le bras porteur du cristal est construit de façon à pouvoir être incliné dans tous les sens. Il peut, en particulier, effectuer un arc de cercle de 180° , parallèlement au sol. De plus, le bras est extensible.

Le chariot est monté sur un rail disposé le long de la paroi longue, la plus éloignée de la porte. Le chariot est tenu en haut sur une barre horizontale au moyen de roulements spéciaux. Ainsi, il est possible de le déplacer sur presque toute la longueur de la paroi. Par le mouvement longitudinal du chariot, la rotation horizontale et l'extensibilité du bras, il est possible de placer le cristal à n'importe quel endroit de la chambre, sur le plan horizontal.

Dans le sens vertical, le cristal peut prendre n'importe quelle position entre une hauteur de 60 cm et 180 cm par rapport au sol, grâce au déplacement vertical du chariot le long d'une vis sans fin. La course du chariot vers le haut ou vers le bas peut être effectuée manuellement au moyen d'une manivelle munie d'un engrenage ou à l'aide d'un moteur électrique. Ce dernier sert aux déplacements lents d'une vitesse de 1 cm/min. Lorsque la commande s'effectue au moyen du moteur électrique, la course du chariot est automatiquement bloquée lorsque celui-ci arrive à l'extrémité supérieure ou à l'extrémité inférieure de la vis sans fin. Un câble électrique permet de manœuvrer à distance le chariot par l'intermédiaire du moteur. Il est ainsi possible de surveiller le mouvement du cristal en se plaçant près de lui. Cette arrangement permet un réglage très fin de la position du cristal par rapport au sujet.

Le mouvement latéral du chariot s'effectue à la main. Nous n'avons pas prévu pour le moment de moteur permettant un mouvement latéral continu car, pour le balayage des sujets, nous préférons choisir 7 positions fixes le long du corps.

Appareils d'enregistrement. Les spectres sont déterminés au moyen d'un analyseur d'impulsions RCL à 256 canaux, Mod. 20617, entièrement transistorisé. Les valeurs accumulées dans une mémoire magnétique peuvent être ensuite enregistrées numériquement sur machine à écrire IBM Model B ou sur machine à additionner Addo-X, et graphiquement sur BROWN Strip Chart Recorder RCL Model 31 014. Sur la calculatrice Addo-X, cinq groupes de canaux peuvent être sélectionnés, et les enregistrements, additionnés séparément, ce qui facilite le dosage lorsque la machine est toujours bien calibrée de la même manière, c'est-à-dire lorsque certains pics d'énergie sont toujours sur les mêmes canaux. La machine Addo-X permet également d'additionner les canaux par groupes de 4 ou de 8. Ces dernières possibilités facilitent également les calculs ou la transcription graphique des valeurs obtenues.

Techniques de mesure. – A cette date, nous avons utilisé deux techniques pour mesurer le contenu radioactif général du corps humain, celle du «fauteuil basculant» (Tilting Chair) et celle de l'arc de cercle de 175 cm de rayon; une troisième technique, celle des positions multiples du cristal, sera employée prochainement.

La technique de l'arc de cercle de 175 cm de rayon, de par sa nature géométrique – tous les points étant équidistants du cristal – offre l'avantage de se prêter à un étalonnage plus précis que ce n'est le cas avec la technique du fauteuil basculant. Cependant, la technique du fauteuil basculant présentant une sensibilité 10 fois plus grande que celle de l'arc, en raison de la diminution de la distance cristal-sujet, la technique du fauteuil basculant a été utilisée pour doser de très petites quantités de radioactivité dans les êtres humains. Rappelons brièvement ces techniques déjà décrites.

Technique du fauteuil basculant (Tilting Chair). Le patient est assis dans un fauteuil spécial (voir fig. 2), penché en arrière de manière que le dossier du fauteuil forme un angle de 35 degrés avec le sol de la chambre. L'angle entre le siège et le dossier du fauteuil est de 90 degrés, de même que l'angle entre le siège et le support des jambes. Le fauteuil possède un support fixe pour les pieds. Le sujet s'assied en écartant les genoux jusqu'à ce que ceux-ci touchent les bras du fauteuil qui sont éloignés de 47 cm de l'un de l'autre. Le sujet croise les mains sur son ventre. Lorsque les genoux sont écartés, toutes les parties du corps, à part les jambes en-dessous des genoux, sont approximativement à la même distance du cristal. Comme le support des pieds est fixe, les genoux d'une personne grande seront légèrement plus près du cristal que ceux d'une personne petite; ceci est compensé par le fait que la tête d'une personne grande est légèrement plus éloignée du cristal que la tête d'une petite personne.

La position du cristal est fixée avec précision au-dessus du fauteuil basculant, grâce au dispositif suivant: à chaque bras du fauteuil est fixée une barre, sous un angle tel que ces barres sont verticales lorsque le fauteuil est penché à 35°. Un disque est fixé entre leurs extrémités. Il permet de placer le fauteuil toujours exactement dans la même position par rapport au centre de la surface inférieure du cristal. Comme la position du sujet est définie par celle du fauteuil on obtient une géométrie précise et reproductible.

La position dans le fauteuil est telle que le sujet se trouve agréablement détendu; il n'a pas tendance à bouger. D'ailleurs, de fait, il est difficile à la personne de changer de position, sauf de mettre ses genoux ensemble ou de bouger ses mains.

Technique de l'arc de cercle de 175 cm de rayon. Le cristal est placé à 2 m au-dessus du milieu du sol de la chambre d'acier. Le sujet est étendu, en décubitus dorsal, au-dessous du cristal, sur un arc de cercle d'un rayon de 175 cm. Le centre de l'arc est situé exactement en-dessous du milieu de la surface inférieure du cristal. Chaque partie de la surface inférieure du corps – tête, tronc, jambes, etc. – se trouve par construction à la même distance de 175 cm du milieu de la surface inférieure du cristal. Le sujet est mesuré ensuite en décubitus ventral. On prend la moyenne des deux mesures. En raison de cette géométrie, le rendement de comptage ne dépendra plus de la position du dépôt radioactif dans le corps, mais seulement des variations d'autoabsorption dues aux différentes épaisseurs des parties du corps.

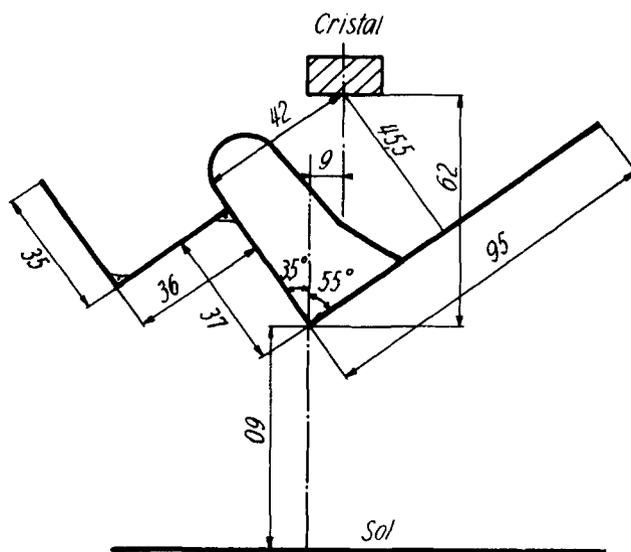


Fig. 2. Fauteuil basculant (Tilting Chair)

Technique des positions multiples du cristal. La face inférieure du cristal est placée à 30 cm au-dessus d'une surface plane et rigide. Le sujet est étendu sur cette surface. Son spectre est obtenu au moyen du cristal non collimaté, placé successivement en différents points, par exemple sept, le long de l'axe du corps. Le dépôt radioactif total peut être calculé à partir de la somme de ces sept mesures. Cette technique sert cependant principalement à préciser la distribution du radium dans le corps. Elle permet également de déterminer si une surface extérieure du sujet est contaminée. En effet, si le radium est déposé en surface, son spectre apparaîtra avec des photopics plus distincts. Il sera possible de préciser le degré de contamination externe, de la tête ou des mains par exemple, et de vérifier l'efficacité du nettoyage de la peau.

Étalonnage. – La méthode utilisée pour calibrer à l'anthropogammamètre variera selon le radio-isotope mesuré. Voici une procédure très simple et très directe utilisable pour la mesure de plusieurs radio-isotopes à vie courte: le spectre du sujet ayant été déterminé, et l'isotope, défini, on administre au sujet une petite quantité supplémentaire, connue, du même isotope et l'on mesure à nouveau le sujet. Avant d'effectuer cette seconde mesure, il est nécessaire de laisser s'écouler le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre intracorporel. Il est également nécessaire de recueillir les excréta

et de mesurer leur activité gamma afin de déterminer le pourcentage de la dose administrée qui a été éliminée du corps.

Pour d'autres éléments, tel le potassium naturel (ce qui sera discuté plus loin), dosé par son radio-isotope ^{40}K , on peut donner au sujet un autre isotope radioactif du même élément, du ^{42}K par exemple, pour étalonner le compteur. Dans ce cas, l'énergie de la raie gamma de l'isotope de substitution doit être très voisine de celle de l'isotope étudié, sinon les différences d'absorption interne fausseraient les mesures.

Étalonnage pour le radium. En raison de sa fixation au niveau des os et de sa longue période radioactive, le radium ne peut être administré volontairement à un être humain, et il n'existe pas d'isotope qui puisse être ingéré à la place du radium. Il faut donc recourir à un autre moyen pour étalonner l'anthropogammamètre pour le radium.

Si l'on choisit la technique de l'arc et si l'on dispose d'un sujet ayant un dépôt intracorporel de $0,5 \mu\text{C}$ ou plus de radium, l'appareil peut être étaloné facilement.

Le sujet, placé sur l'arc, est mesuré en décubitus dorsal et ventral. On prend la moyenne de ces deux mesures. Une source étalon de $1,0 \mu\text{C}$ de radium, en équilibre avec ses produits de désintégration (nous avons utilisé une source étalon provenant du NATIONAL BUREAU OF STANDARDS des Etats-Unis) est mise en centre d'un fantôme constitué par un bloc carré de bois comprimé (pavatex) de 30 cm de côté et de 13 cm d'épaisseur³). Ce fantôme est posé sur l'arc à la place du sujet. L'activité observée chez le sujet, divisée par celle provenant de la source de $1,0 \mu\text{C}$ placée dans le fantôme, donne le nombre de μC de radium présent chez le sujet examiné.

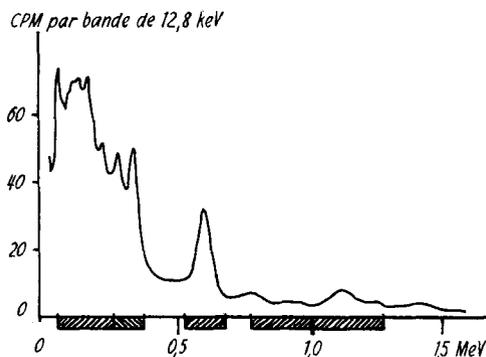


Fig. 3. Bandes γ utilisées pour la mesure du radium

La meilleure manière d'étalonner l'appareil pour la technique du fauteuil basculant consiste à utiliser un sujet dont le dépôt intracorporel en radium a été défini avec précision au moyen de la technique de l'arc. Cependant, il n'est pas toujours possible d'obtenir des sujets ayant au moins $0,5 \mu\text{C}$ de radium. On peut alors utiliser le procédé suivant: MILLER a constaté que $1,0 \mu\text{C}$ de RaB/RaC, dans le corps d'un sujet assis dans le fauteuil basculant, est équivalent à 4,1 fois la valeur mesurée de $1,0 \mu\text{C}$ de radium placé dans le fantôme de $13 \times 30 \times 30$ cm dont la face inférieure, parallèle à la face du cristal, est distante de 100 centimètres de celle-ci. Le fauteuil basculant a tout d'abord été étaloné par cette méthode. Des mesures ultérieures, faites sur d'autres sujets plus actifs, mesurés à la fois sur l'arc et sur le fauteuil basculant, ont montré que cette méthode d'étalonnage était juste à quelques pour-cent. Nous poursuivons ces doubles mesures sur l'arc et sur le fauteuil basculant afin d'obtenir un étalonnage encore plus précis du fauteuil basculant.

La quantité de radium présente dans le sujet est calculée en choisissant l'activité mesurée dans quatre bandes d'énergies bien déterminées. Ces bandes d'énergies, indiquées dans la figure 3, sont de 75 à 275 keV, 275 à 375 keV, 525 à 675 keV et 775 à 1275 keV. Le mouvement propre gamma de la chambre, ainsi que l'activité observée chez le sujet normal non contaminé, sont soustraits pour chaque bande d'énergie, respectivement. L'activité nette restante (due au radium)

est divisée par celle observée à partir de l'étalon de 1 μC de radium (multipliée par 4,1) situé au centre du fantôme de 13 cm placé à 1 mètre. Les activités observées pour le mouvement propre, le radium dans le fantôme, le sujet non contaminé et le sujet contaminé sont, indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1. *Activités observées (étalonnage)*

| Bandes d'énergies en keV | 75–275 | 275–375 | 525–675 | 775–1275 |
|--|--------|---------|---------|----------|
| Activité du mouvement propre, en cpm | 366 | 146,5 | 103 | 149,5 |
| Activité de 1 μC ^{226}Ra dans le fantôme de 13 cm ($\times 4,1$), en cpm | 26855 | 11 000 | 6490 | 4936 |
| Activité d'un sujet normal, en cpm | 180 | 43 | 53 | 33 |
| Activité d'un sujet contaminé, en cpm | 1892 | 745 | 456 | 351 |
| Quantité de RaB/RaC, calculée en μC | 0,0704 | 0,0677 | 0,0703 | 0,0710 |

Les résultats obtenus grâce à chacune de ces bandes d'énergies sont très voisins les uns des autres. La dispersion est inférieure à 5%. Il est cependant préférable de prendre une valeur moyenne de ces quatre résultats plutôt que de choisir une seule bande.

Étalonnage pour le potassium. Pour la mesure de K et de ^{137}Cs , le fauteuil basculant a été étalonné de la manière suivante: 8 malades⁵⁾ de l'Hôpital ont été mesurés, chacun pendant 50 minutes, dans le fauteuil. Le spectre gamma du mouvement propre de la chambre a été soustrait du spectre de chacun des sujets afin d'obtenir le spectre du rayonnement gamma propre au sujet. Ensuite on a donné 10 μC de ^{42}K , par voie orale, à chacun des malades. Les urines ont été recueillies dans un flacon de 2 l, pendant 24 h. A ce moment, le sujet a été mesuré à nouveau dans le fauteuil basculant. Une dose de ^{42}K , estimée en volume, égale à celle donnée au sujet, a été introduite dans un flacon ayant contenu au préalable 1 kg de KCl, mais rempli seulement d'un litre d'eau. Ce dernier flacon sert de source de référence pour estimer l'activité du sujet. Un dixième de la même dose a été mis dans un flacon de 2 l (dénommé flacon étalon urinaire). On ajoute de l'eau, tant au flacon d'urine qu'au flacon étalon urinaire (^{42}K), afin que ces flacons contiennent le même volume. L'activité de chacun de ces flacons est alors mesurée, ceux-ci étant placés sur un support situé exactement à 40 cm de la surface inférieure du cristal. Pour trouver la quantité de ^{42}K excrétée, exprimée en centième de la dose administrée, on divise l'activité du flacon d'urine par l'activité du flacon étalon urinaire et on multiplie cette valeur par 10. Un flacon de 1 kg de KCl naturel et le flacon d'un litre de solution de ^{42}K sont également mesurés sur le support distant de 40 cm du cristal. Le spectre du sujet, obtenu le premier jour, est soustrait du spectre enregistré 24 h après l'absorption de ^{42}K , ce qui fournit le vrai spectre ^{42}K du sujet.

Le contenu corporel en K est calculé au moyen de l'équation suivante:

$$\begin{aligned} \text{Grammes de K normal} &= \text{cpm de } ^{40}\text{K du sujet} \times 525 \text{ g de K normal (1 kg KCl)} \times \\ &\times \frac{1}{\text{cpm } 525 \text{ g de K}} \times \frac{\text{cpm } ^{42}\text{K dans le flacon}}{\text{cpm } ^{42}\text{K dans le sujet}} \end{aligned}$$

Pour calculer le contenu en K du sujet, on s'est servi, pour le premier terme, du second membre de l'équation, de l'activité enregistrée dans deux bandes d'énergies. L'une de ces bandes couvre les gamma COMPTON diffusés entre 775 et 1275 keV, et l'autre bande couvre le photopic. Pour le photopic, on a utilisé une bande de 250 keV autour du 1,46 MeV du ^{40}K et une bande de 250 keV autour du 1,51 MeV du ^{42}K , respectivement. L'activité nette de ^{42}K du sujet a été corrigée de l'excrétion urinaire, et toutes les mesures de ^{42}K ont été corrigées pour la décroissance radioactive de ^{42}K .

⁵⁾ Nous remercions Monsieur le Professeur RENÉ-S. MACH et les Drs RAYMOND COLLET et MICHEL LACROIX de nous avoir fourni les cas.

Le produit du second et du troisième terme du second membre est une constante qui, une fois déterminée avec précision, peut être utilisée sans autre si le flacon de ^{42}K est bien toujours placé à la même distance du cristal que le flacon de KCl , à l'origine.

Le quatrième terme du second membre est un facteur géométrique (facteur g). Il peut varier très légèrement d'un sujet à l'autre. Un facteur géométrique moyen sera obtenu lorsqu'un grand nombre de sujets auront été mesurés avec ^{42}K . La dispersion constatée pour ce facteur de géométrie démontre l'incertitude pouvant exister dans les mesures de K si l'on utilise une constante moyenne d'étalonnage au lieu de faire absorber chaque fois une dose connue de ^{42}K pour effectuer la mesure de K .

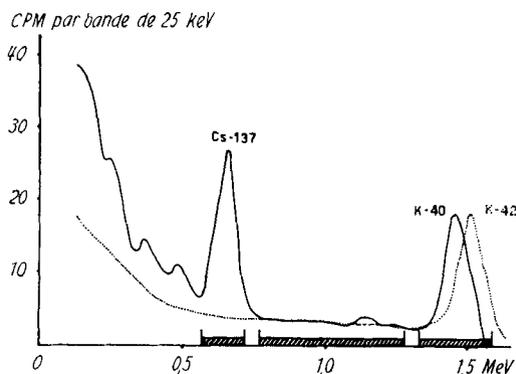


Fig. 4. Bandes γ utilisées pour la mesure du K et du ^{137}Cs

Étalonnage pour le ^{137}Cs (Fig. 4). L'anthropogammamètre a été étalonné pour la mesure du ^{137}Cs d'une façon approximative. Le spectre net de ^{42}K (entre 75 keV et 1575 keV) de l'un des sujets a été normalisé afin d'obtenir la même surface sous le photopic de ^{42}K (entre 1375 et 1625 keV) ainsi que la bande d'énergie COMPTON (entre 775 et 1275 keV) que sous le photopic de ^{40}K (entre 1325 et 1575 keV) et la bande d'énergie COMPTON (entre 775 et 1275 keV). Ce spectre normalisé de ^{42}K fut alors soustrait, canal après canal, du spectre normal de MILLER enregistré à Genève. Le spectre restant était dû au ^{137}Cs . Dans ce spectre restant, on a sélectionné une bande d'énergie de 150 keV (entre 575 et 725 keV) représentant le photopic du ^{137}Cs . Le nombre de cpm trouvé dans cette bande d'énergie du spectre net de ^{137}Cs de MILLER a été divisé par le contenu en ^{137}Cs de MILLER, tel qu'il avait été déterminé au Laboratoire national d'Argonne, aux Etats-Unis. Ce calcul a conduit à un facteur d'étalonnage de 8000 cpm par μC de ^{137}Cs corporel. Cette sensibilité est en bon accord avec les valeurs rapportées par MEHL⁶) et mesurées dans d'autres laboratoires utilisant un cristal de la même dimension et également la technique du fauteuil basculant.

Précision de l'étalonnage. – *Potassium.* L'étalonnage pour le potassium est précis pour chacun des sujets ayant reçu une quantité connue de traceur ^{42}K . Il sera nécessaire de mesurer encore d'autres sujets avant de pouvoir établir l'erreur qui apparaîtrait par l'utilisation, pour tous les sujets, d'un facteur d'étalonnage moyen. Le facteur g , déterminé pour les six premiers sujets, oscille entre 1,80 et 1,88 avec une valeur moyenne de 1,84. Ainsi le facteur g moyen pour ce groupe limité est de 1,84 \pm 2,4%. Pour le contenu corporel en K de MILLER, mesuré dans le compteur de Genève et calculé au moyen du facteur g moyen, actuel, on a trouvé une valeur de 139 grammes. Ce chiffre est très comparable aux 138 grammes trouvés pour MILLER

⁶) J. MEHL, Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne, Intercomparison of basic calibration data for measurements of ^{40}K and ^{137}Cs in the human body, Table 2, 24. 9. 1962.

Tableau 2. Récapitulation des 70 cas examinés en 1962

| Cas inférieurs à 0,01 μc | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----|-------|---------|--------|-----------------|--------|---------|---------|------------------------------|
| Code | Age | Début | Fin | Années | Rayons γ | Radon | Total | Rapport | Remarques |
| BE 01 06 | 18 | — | — | — | 0,00113 | 0,005 | 0,00613 | 81,6 | Fille de BE 02 15 |
| BE 02 10 | 32 | 1953 | Présent | 9 | 0,0014 | 0,004 | 0,0054 | 74,1 | D |
| BE 03 26 | 54 | 1935 | Présent | 27 | 0,0030 | 0,0045 | 0,0075 | 60,0 | D |
| SO 06 22 | 30 | 1958 | Présent | 4 | 0,001 | 0,0054 | 0,0064 | 84,4 | D |
| Cas entre 0,01 et 0,05 μc | | | | | | | | | |
| Code | Age | Début | Fin | Années | Rayons γ | Radon | Total | Rapport | Remarques |
| BE 02 07 | 62 | 1933 | Présent | 29 | 0,0119 | 0,0226 | 0,0345 | 65,5 | Quelques heures à domicile |
| BE 02 18 | 52 | 1935 | Présent | 27 | 0,0125 | 0,013 | 0,0255 | 51,0 | D |
| BE 03 19 | 45 | 1961 | Présent | 1 | 0,0045 | 0,028 | 0,0325 | 86,1 | D |
| BE 03 21 | 46 | — | — | — | 0,0055 | 0,013 | 0,0185 | 70,3 | Mari de BE 03 20 |
| BE 02 25 | 6 | — | — | — | 0,0026 | 0,0102 | 0,0128 | 79,6 | Fils de BE 02 24 |
| BE 04 28 | 34 | 1960 | Présent | 2 | 0,0062 | 0,0295 | 0,0357 | 82,6 | Mari de BE 04 27 - Travail |
| BE 02 31 | 53 | 1956 | Présent | 6 | 0,0074 | 0,0289 | 0,0363 | 79,6 | I |
| BE 02 35 | 43 | 1952 | Présent | 10 | 0,0121 | 0,0377 | 0,0498 | 75,7 | I |
| BE 02 36 | 38 | 1960 | Présent | 2 | 0,0054 | 0,0089 | 0,0143 | 62,2 | I |
| NE 01 01 | 11 | — | — | — | 0,0042 | 0,0085 | 0,0127 | 66,9 | Fils de NE 01 02 |
| NE 01 02 | ? | 1959 | 1962 | 3 | 0,0099 | 0,0206 | 0,0305 | 67,5 | D |
| NE 03 09 | 73 | 1914 | 1954 | 40 | 0,0059 | 0,0147 | 0,0206 | 71,3 | D |
| NE 03 15 | 45 | 1960 | Présent | 2 | 0,0078 | 0,0113 | 0,0191 | 59,2 | D |
| GE 03 07 | 40 | 1959 | Présent | 3 | 0,0233 | 0,022 | 0,0453 | 48,6 | D |
| GE 02 11 | 34 | 1952 | 1958 | 6 | 0,0035 | 0,0120 | 0,0155 | 77,4 | 1/2 journée |
| GE 03 13 | 11 | — | — | — | 0,0017 | 0,0108 | 0,0125 | 86,4 | Fille de GE 03 07 |
| SO 01 02 | 55 | 1921 | 1936 | 15 | 0,0144 | 0,0169 | 0,0313 | 54,0 | D |
| SO 03 12 | 57 | 1927 | 1945 | 18 | 0,0019 | 0,0329 | 0,0348 | 94,5 | Travail le soir |
| SO 03 13 | 10 | — | — | — | 0,0034 | 0,0167 | 0,0201 | 83,1 | Fils de SO 03 11 et SO 03 12 |
| SO 04 15 | 42 | 1950 | Présent | 12 | 0,0080 | 0,0184 | 0,0264 | 69,7 | I |
| SO 04 16 | 28 | 1960 | Présent | 2 | 0,0042 | 0,0122 | 0,0164 | 74,4 | I |
| SO 01 18 | 35 | 1953 | Présent | 9 | 0,0043 | 0,0402 | 0,0445 | 90,3 | I |
| SO 06 23 | 58 | 1958 | Présent | 4 | 0,0032 | 0,0150 | 0,0182 | 82,4 | D |

Cas entre 0,05 et 0,1 μc

| Code | Age | Début | Fin | Années | Rayons γ | Radon | Total | Rapport | Remarques |
|----------|-----|-------|---------|--------|-----------------|--------|--------|---------|-------------------------------|
| BE 02 08 | 56 | 1935 | Présent | 27 | 0,0338 | 0,040 | 0,0738 | 54,2 | D |
| BE 02 09 | 59 | 1939 | Présent | 23 | 0,0208 | 0,033 | 0,0538 | 61,3 | D |
| BE 03 20 | 44 | 1944 | Présent | 18 | 0,020 | 0,033 | 0,053 | 62,3 | D |
| BE 03 22 | 17 | — | — | — | 0,016 | 0,037 | 0,053 | 69,8 | Fille de BE 03 20 et BE 03 21 |
| BE 02 24 | 29 | 1951 | 1961 | 10 | 0,0194 | 0,0459 | 0,0653 | 70,3 | D |
| BE 02 29 | 39 | 1954 | Présent | 8 | 0,0189 | 0,0629 | 0,0818 | 76,9 | I |
| BE 02 33 | 57 | 1937 | Présent | 25 | 0,0219 | 0,0521 | 0,0740 | 70,4 | I |
| BE 02 34 | 51 | 1945 | Présent | 17 | 0,0185 | 0,0566 | 0,0751 | 75,4 | I |
| NE 01 03 | 17 | — | — | — | 0,0282 | 0,0561 | 0,0843 | 66,5 | Fille de NE 01 04 |
| NE 03 06 | 64 | 1940 | Présent | 22 | 0,0227 | 0,0566 | 0,0793 | 71,3 | D |
| NE 03 11 | 15 | — | — | — | 0,0166 | 0,0419 | 0,0585 | 71,6 | Fils de NE 03 10 |
| NE 03 12 | 12 | — | — | — | 0,009 | 0,0498 | 0,0588 | 84,7 | Fille de NE 03 10 |
| GE 01 05 | 35 | — | — | — | 0,0191 | 0,034 | 0,0531 | 64,0 | Mari de GE 01 03 |
| GE 01 12 | 24 | — | — | — | 0,0145 | 0,0513 | 0,0658 | 78,0 | Fille de NE 02 05 |
| GE 03 14 | 14 | — | — | — | 0,0028 | 0,0481 | 0,0509 | 94,5 | Fils de GE 03 07 |
| SO 01 01 | 66 | 1928 | Présent | 34 | 0,0475 | 0,041 | 0,0885 | 46,3 | D |
| SO 03 11 | 52 | 1927 | 1960 | 33 | 0,0127 | 0,0759 | 0,0886 | 85,6 | D |
| SO 04 14 | 48 | 1946 | Présent | 16 | 0,0156 | 0,0354 | 0,0510 | 69,4 | I |
| SO 04 17 | 22 | 1961 | Présent | 1 | 0,0186 | 0,0481 | 0,0667 | 72,1 | I |

Cas entre 0,1 et 0,2 μc

| | | | | | | | | | |
|----------|----|------|---------|----|--------|--------|--------|------|---|
| BE 04 27 | 34 | 1945 | Présent | 17 | 0,0401 | 0,0929 | 0,1330 | 69,8 | D |
| BE 02 32 | 39 | 1957 | Présent | 5 | 0,0344 | 0,1258 | 0,1602 | 78,5 | I |
| NE 01 04 | 47 | 1940 | Présent | 22 | 0,0503 | 0,0830 | 0,1333 | 62,3 | D |
| NE 02 05 | 42 | 1947 | Présent | 15 | 0,0378 | 0,0799 | 0,1177 | 67,9 | D |
| NE 03 08 | 77 | 1924 | Présent | 38 | 0,0599 | 0,0736 | 0,1335 | 55,1 | D |
| NE 03 13 | 42 | 1940 | Présent | 22 | 0,0429 | 0,0909 | 0,1338 | 67,9 | D |
| SO 02 09 | 62 | 1931 | Présent | 31 | 0,025 | 0,113 | 0,138 | 81,9 | D |
| SO 02 10 | 34 | — | — | — | 0,020 | 0,081 | 0,101 | 80,2 | D |

Cas entre 0,2 et 0,3 µc

| Code | Age | Début | Fin | Années | Rayons γ | Radon | Total | Rapport | Remarques |
|----------|-----|-------|---------|--------|-----------------|--------|--------|---------|------------------|
| BE 02 15 | 53 | 1922 | 1942 | 20 | 0,097 | 0,149 | 0,246 | 60,6 | Mère de BE 01 06 |
| BE 02 17 | 63 | — | — | — | 0,258 | 0,0212 | 0,2792 | 7,6 | Mari de BE 02 07 |
| BE 02 30 | 32 | 1954 | Présent | 8 | 0,0506 | 0,1759 | 0,2265 | 77,7 | D |
| BS 01 01 | 57 | 1959 | Présent | 3 | 0,0450 | 0,1804 | 0,2254 | 80,0 | I |
| GE 01 03 | 32 | 1951 | 1962 | 11 | 0,0659 | 0,166 | 0,2319 | 71,6 | I |
| SO 05 25 | 23 | 1956 | Présent | 6 | 0,0668 | 0,2082 | 0,2750 | 75,7 | I |

Cas entre 0,3 et 0,4 µc

| | | | | | | | | | |
|----------|----|------|---------|----|--------|--------|--------|------|---|
| GE 01 04 | 69 | 1945 | Présent | 17 | 0,1125 | 0,2210 | 0,3335 | 66,3 | I |
| NE 03 10 | 40 | 1948 | Présent | 14 | 0,1518 | 0,2399 | 0,3917 | 61,2 | D |
| SO 05 21 | 37 | 1946 | Présent | 16 | 0,07 | 0,3031 | 0,3731 | 81,3 | I |

Cas entre 0,4 et 0,5 µc

| | | | | | | | | | |
|----------|----|------|---------|----|--------|--------|--------|------|-----------------------|
| NE 03 07 | 60 | 1942 | Présent | 20 | 0,1429 | 0,2666 | 0,4095 | 65,1 | Travail avec NE 03 06 |
| SO 05 24 | 38 | 1946 | Présent | 16 | 0,1665 | 0,2722 | 0,4387 | 62,0 | D |

Cas entre 0,5 et 1,0 µc

| | | | | | | | | | |
|----------|----|------|---------|----|--------|--------|--------|------|---|
| GE 01 01 | 40 | 1945 | Présent | 17 | 0,2646 | 0,5683 | 0,8329 | 68,2 | I |
| SO 05 19 | 28 | 1961 | Présent | 1 | 0,1088 | 0,6476 | 0,7564 | 85,6 | I |
| SO 05 26 | 20 | 1957 | Présent | 5 | 0,1006 | 0,4561 | 0,5567 | 81,9 | I |

Cas supérieurs à 1,0 µc

| | | | | | | | | | |
|----------|----|------|---------|----|-------|--------|--------|------|---|
| GE 01 02 | 52 | 1926 | Présent | 36 | 0,702 | 0,9810 | 1,6830 | 58,3 | I |
| SO 05 20 | 42 | 1948 | Présent | 14 | 0,413 | 1,2201 | 1,6331 | 74,7 | I |

au moyen de plusieurs autres anthropogammamètres. Il reste dans l'erreur statistique de la mesure.

Césium. Le facteur d'étalonnage pour le ^{137}Cs est probablement à 10% près du chiffre réel, si l'on compare notre chiffre aux valeurs rapportées par MEHL.

Radium. Le présent étalonnage pour la technique du fauteuil basculant peut présenter une erreur de 10%. Cependant, les mesures effectuées par MILLER⁷⁾ démontrent que n'importe quelle technique de mesure contient probablement une incertitude de 10% (pour un individu) due aux grandes différences de distribution du radium dans le squelette. Comme la plupart des sujets mesurés à ce jour avaient, de plus, des traces de contamination de radium à la surface de la peau, il a été impossible d'obtenir des valeurs permettant d'établir avec certitude un rapport entre la technique de l'arc et celle du fauteuil basculant. D'autres sujets seront mesurés selon les deux techniques et un facteur d'étalonnage plus précis sera déterminé.

Premiers résultats. – Dans une première série de 70 cas⁸⁾, nous avons mesuré des personnes pouvant être contaminées de différentes manières, soit par leur travail, soit parce que vivant en contact intime avec des utilisateurs de peinture radioactive. Il s'agit pour l'instant d'une sorte de recensement des cas probablement contaminés, recensement qui nous permettra par la suite de choisir les sujets méritant d'être suivis pendant une longue période de temps afin de répondre à l'objectif que nous nous sommes proposé.

Dans le tableau récapitulatif de ces cas, classés en groupes de quantité croissante du dépôt, nous indiquons également les valeurs trouvées au niveau de l'expiration pulmonaire. Le détail de ces mesures sera indiqué dans un prochain mémoire.

Dans le tableau 2 ci-après, nous indiquons l'âge du sujet, l'année du début et de la fin de son travail, la valeur en μC du dépôt déterminée par mesure du rayonnement γ (anthropogammamètre) et par celle du radon expiré. Nous faisons la somme (*total*) de la valeur gamma et radon⁹⁾ et calculons le rapport radon/(gamma + radon), exprimé en % (*rapport*).

Discussion – Le radium déposé au niveau des os se désintègre en radon. Une partie de ce radon reste captée par l'organisme et sert à la mesure du dépôt par anthropogammamétrie des RaB/RaC. L'autre partie du radon est exhalée et mesurée. Nous avons indiqué sous *rapport* la relation radon/(gamma + radon), multipliée par 100. La littérature indique qu'une personne en équilibre radioactif donne un rapport de 70%. Les valeurs variables trouvées pour ce rapport sont expliquées soit par une contamination récente (valeurs supérieures à 70%), soit par une contamination extérieure (valeurs inférieures à 70%). En effet, lors d'une contamination récente, une partie du radium sera encore déposée au niveau pulmonaire et le radon formé à ce niveau sera entièrement exhalé, ce qui provoque une augmentation du rapport. La contamination extérieure (dépôt sur la peau) va augmenter les valeurs trouvées par anthropogammamétrie et abaisser le rapport.

7) C. E. MILLER, An Experimental Evaluation of Multiple-Crystal Arrays and Single-Crystal Techniques, Symposium on Whole Body Counting, Vienna, Austria, International Atomic Energy Agency, 1962.

8) Nous remercions MM. BEAT MARTI et KLAUS WITSCHI, médecins, qui nous ont fourni les cas.

9) Nous remercions MM. KYRIACOS SOUCAS et YVAN ANNEN qui ont effectué la mesure du radon chez les sujets examinés.

Dans les Remarques, la lettre D indique que le sujet travaille à domicile, et la lettre I, dans une usine ou un atelier. D'une manière générale, il semble que les sujets pris dans l'industrie sont plus contaminés que les sujets travaillant à domicile.

Il est à noter que souvent les membres de la famille du sujet contaminé présentent également une contamination.

Nous discuterons dans un mémoire ultérieur les relations entre les techniques de travail et le degré de contamination du sujet et de sa famille, ainsi que les relations entre l'état de santé du sujet et la quantité de dépôt interne.

SUMMARY

The construction characteristics of the Geneva Whole Body Counter are given and the techniques used for measuring the subjects and calibrating natural potassium, ^{137}Cs and radium contamination in humans are described. The radium body burdens of a first series of 70 professionally contaminated cases are given.

Centre de radioactivité médicale, Genève

50. Recherches sur l'accumulation et la toxicité du radium et du radiostrontium dans le corps humain. III¹⁾2)

Courbes d'élimination du strontium 90

par **Pierre Wenger** et **Kyriacos Soucas**

(11 I 63)

Introduction. – Pour pouvoir calculer la grandeur d'un dépôt de ^{90}Sr chez l'Homme, par le dosage de l'activité urinaire, il est nécessaire de connaître avec une certaine précision la courbe de rétention du ^{90}Sr .

Cette courbe a été étudiée chez les animaux, mais il existe encore très peu de valeurs pour l'Homme, les personnes contaminées étant heureusement en nombre restreint.

Il nous a été donné de suivre depuis février 1962 deux cas de personnes ayant subi une contamination suffisante pour que les valeurs trouvées soient significatives.

L'une de ces personnes, GE 01 03, exposée à une contamination pendant approximativement 10 ans, a cessé, par un changement d'occupation, tout contact avec la substance contaminante au moment même où nous avons commencé à la suivre. L'étude de ce cas nous a donc fourni une courbe correspondant, dans une certaine mesure, aux premières phases de l'élimination.

L'autre personne, GE 01 05, a une contamination plus ancienne, qui s'est produite pendant quelques années jusqu'en juin 1959 et qui a donc cessé au moins 940 jours avant le début de notre série d'analyses. Elle nous indique les caractéristiques de la phase lente d'excrétion.

1) Ce travail a été effectué avec l'aide de l'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE à Vienne et de la COMMISSION POUR LA SCIENCE ATOMIQUE à Berne.

2) II^e communication: Helv. 46, 467 (1963).