

## ÉTUDE D'UNE INSTALLATION LÉGÈRE DE SPECTROMÉTRIE GAMMA HUMAINE

H. FROSSARD, G. ARNAUD, L. ANDRIEU,  
J. FABRE et G. DONGRADI\*  
(manuscrit reçu le 5 novembre 1968)

### RÉSUMÉ

Cette note technique décrit une installation de spectrométrie humaine simplifiée; les résultats obtenus montrent que la sensibilité de cet appareillage est seulement deux fois moins élevée que celle d'un ensemble complet de spectrométrie humaine, sous enceinte, comportant trois sondes de 5 pouces.

Pour les radioéléments qui ont été testés, il est montré que ce matériel permet de détecter des contaminations internes de l'ordre de 1/1 000 de la QMA travailleur. Cette grande sensibilité est due à la position du détecteur collimaté au contact du creux épigastrique.

Cet appareillage simple et portable, apporte semble-t-il, une solution élégante et économique aux problèmes posés aux médecins du travail par la surveillance systématique en spectrométrie gamma des travailleurs directement affectés aux travaux sous rayonnements.

### INTRODUCTION

Pratiquant depuis plusieurs années les examens de spectrométrie humaine au moyen d'une installation complète, nous avons été très intéressés par l'appareillage portable de spectrométrie humaine proposé par DERAY PARKER et JESSE ANDERSON en février 1967 [1].

La simplicité de cet appareillage nous a paru séduisante et partant de cette idée, nous avons demandé à une firme française de réaliser l'appareillage décrit dans cette note technique\*\*.

Les résultats obtenus concernent deux séries de mesure :

- l'une sur un mannequin contaminé par des quantités connues de divers radioéléments, a permis de calculer le rendement et la sensibilité pour diverses énergies;
- l'autre sur des malades hospitalisés ayant reçu des radioéléments dans un but de diagnostic clinique. Ces deux séries de mesure ont permis de comparer les performances de cette installation à celle de notre installation de spectrométrie trois sondes, sous enceinte.

### I - DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE ET TECHNIQUE DE MESURE

#### I - DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE DE SPECTROMÉTRIE SIMPLIFIÉE

##### a) Le détecteur

La détection est faite par une sonde à scintillation de 3 × 3 pouces, associée à un photomultiplicateur RCA (quartz et silice). Un collimateur, dont la forme et les dimensions sont indiquées sur le schéma n° 1, protège la sonde et le photomultiplicateur.

\* Division d'Hygiène Atomique du Centre de Recherches du Service de Santé des Armées - Hôpital Militaire d'Instruction Percy - 92 - Clamart.

\*\* L'appareillage a été réalisé par la Société MECASERTO.

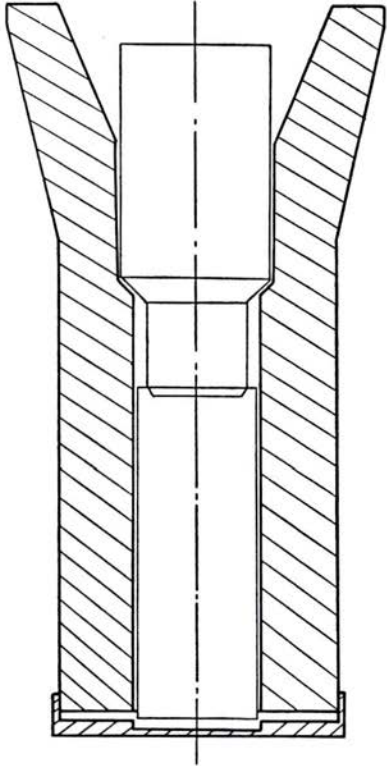


FIG. 1. — Blindage de la sonde  
(échelle 1/4)

Sonde et collimateur sont montés sur un support mécanique qui permet de les orienter (schéma n° 2).

Un analyseur d'amplitude à 400 canaux (SA 40 B - Intertechnique) donne le spectre.

b) *Blindage*

Un blindage protège le thorax : 10 cm de plomb sur les deux faces latérales, 12 cm sur la face postérieure (le siège étant provisoirement adossé à l'enceinte de spectrométrie trois sondes).

c) *Le mannequin utilisé*

C'est un mannequin de formes géométriques simples ayant les dimensions de l'homme moyen, décrit dans un rapport de notre laboratoire [2].

2) TECHNIQUE DE MESURE

a) *Position de la sonde par rapport au sujet*

Le collimateur est appliqué au contact du patient ou du mannequin, au niveau du creux épigastrique.

b) *Enregistrement*

Durée : 10 minutes,  
0 à 2 MeV sur 100 canaux.

Le bruit de fond d'environ 1 000 coups par minute est déduit.

3) APPAREILLAGE ET TECHNIQUE DE MESURE EN SPECTROMÉTRIE HUMAINE NORMALE

Nous disposons depuis plusieurs années, pour nos mesures de spectrométrie gamma humaine d'une enceinte blindée classique. La mesure du sujet qui est en position semi-assise est effectuée par trois sondes à scintillation de 5 × 5 pouces (une sonde supérieure placée à 5 cm du cou — une sonde lombaire placée à 2 cm du sacrum — une sonde verticale placée à 5 cm de l'abdomen).

L'enregistrement est fait dans les conditions indiquées ci-dessus.

Le bruit de fond est de 3 000 coups par minute.

## II - RÉSULTATS

### A - MESURES EFFECTUÉES SUR LE MANNEQUIN

1) *Avec de l'Or 198*

Caractéristiques de ce radioélément :

T = 2,70 jours,

Emetteur  $\gamma$  de 0,41 MeV,

Rapport d'embranchement : 99 % dont 4 % de conversion interne.

100  $\mu$  Ci ont été répartis uniformément dans tout le mannequin, la décroissance a été suivie jusqu'à la limite de détection de l'installation.

a) *Rendement*

100  $\mu$  Ci donnent dans le pic saillant symétrisé : 1 142 400 impulsions en 10 minutes.

$$R = \frac{1\ 142\ 400}{60 \times 10} \times \frac{1}{3,7 \times 10^6 \times 0,95} = 5,4 \cdot 10^{-4}$$

— 60 × 10, nombre de secondes dans 10 minutes.

— 3,7 × 10<sup>6</sup>, nombre de désintégrations pour 100  $\mu$  Ci.

— 0,95, nombre de photons par désintégration (99 — 4) %.

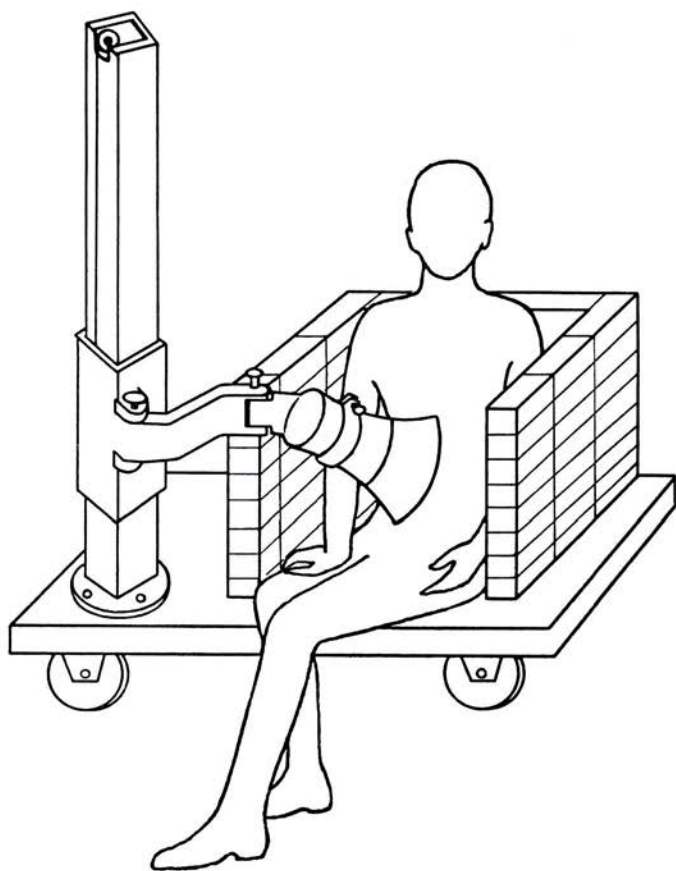


FIG. 2. — Montage de la sonde et du collimateur.

b) *Sensibilité*

Trente six jours après la première mesure, nous obtenions encore un pic net, avec 63 impulsions dans le canal central, bruit de fond déduit. A ce moment-là, l'activité est de 10 nanocuries.

La QMA travaille pour l'organisme entier pour l'Or 198 est 30  $\mu$  Ci.

Il a donc été possible de détecter 3/10 000 de la QMA travailleur.

Pour déterminer la sensibilité, nous avons utilisé un calcul qui nous permet d'éviter d'attendre que l'activité ait suffisamment déca.

Nous avons défini la sensibilité comme l'activité qui donne dans le canal central un nombre de coups double de celui du bruit de fond. Dans le cas présent, elle est égale à : 36 nanocuries.

2) *Autres radioéléments employés :*

Cs 137; Na 24; K 40; La 140. L'ensemble des résultats obtenus est présenté dans le tableau suivant :

Elément	Energie	Rendement	Sensibilité
Au 198	MeV 0,41	$5,4 \cdot 10^{-4}$	nanocurie 36
Cs 137	0,66	$9 \cdot 10^{-4}$	21
Na 24	1,37	$4,0 \cdot 10^{-4}$	11
K 40	1,46	$3,1 \cdot 10^{-4}$	66
La 140	1,60	$3,9 \cdot 10^{-4}$	14,8

## B - MESURES EFFECTUÉES SUR DES HOMMES

L'homme non contaminé ne modifie pas de façon sensible le bruit de fond de l'installation.

Pendant la période d'expérimentation nous avons pu suivre trois personnes contaminées :

R — contaminé dans un but de diagnostic par du chrome 51.

J — contaminé dans un but de diagnostic par du chrome 51 et par de l'Or 198.

M — légèrement contaminé accidentellement par du Lanthane 140.

Ces trois sujets ont été examinés parallèlement avec l'installation simplifiée et avec l'installation complète.

Les résultats obtenus en 10 minutes figurent dans le tableau ci-après.

	Spectrométrie simplifiée (Nombre total de coups)	Spectrométrie normale (Nombre total de coups)
I - Contamination par Chrome 51		
11/10/67 .....	10 400	111 837
16/10/67 .....	10 500	109 134
24/10/67 .....	6 300	69 000
II - Contamination par Or 198		
17/10/67 .....	32 930	273 466
20/10/67 .....	13 695	108 093
III - Contamination par La 140	879	4 675



## III - DISCUSSION

## 1) RÉSULTATS OBTENUS AVEC LE MANNEQUIN

Les performances des deux installations (rendement, sensibilité) pour des énergies de 0,41 à 1,60 MeV sont données dans le tableau suivant.

Elément	Energie	Rendement		Sensibilité		Résolution	
		sp. légère	sp. 3 sond.	légère	3 sond.	légère	3 sond.
Au 198	0,41	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$61 \cdot 10^{-4}$	36 nCi	24	11 %	13 %
Cs 137	0,66	$9 \cdot 10^{-4}$	$94 \cdot 10^{-4}$	21 nCi	16	9,3 %	10,8 %
Na 24	1,37	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$85 \cdot 10^{-4}$	11 nCi	6	6,4 %	7 %
K 40	1,46	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$51 \cdot 10^{-4}$	66 nCi	8,2	6,45 %	5,75 %
La 140	1,6	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$53 \cdot 10^{-4}$	14,8 nCi	6	5,8 %	7,25 %

## 2) RÉSULTATS OBTENUS CHEZ L'HOMME

## a) Rapport de rendement :

Il nous est donné par le rapport du nombre d'impulsions obtenues, au même moment, avec chacune des deux installations :

$$\frac{\text{Rendement spectro. légère}}{\text{Rendement spectro. 3 sond.}} \text{Cr } 51 (0,32 \text{ MeV}) = 0,094$$

$$\frac{\text{Rendement spectro. légère}}{\text{Rendement spectro. 3 sond.}} \text{Au } 198 (0,41 \text{ MeV}) = 0,12$$

$$\frac{\text{Rendement spectro. légère}}{\text{Rendement spectro. 3 sond.}} \text{La } 140 (1,6 \text{ MeV}) = 0,18$$

## b) Rapport de sensibilité

La sensibilité telle que nous l'avons définie est l'activité qui donne dans le pic un nombre d'impulsions double de celui du bruit de fond.

Le rapport des sensibilités des deux installations sera donc :

$$\frac{2 \cdot (\text{BF pic spectro. 3 sondes})}{(\text{Rendement spectro. 3 sondes})} \cdot \frac{\text{Rendement spectro. légère}}{2 (\text{BF pic spectro. légère})} \\ = \frac{(\text{Rendement spectro. légère})}{(\text{Rendement spectro. 3 sondes})} \cdot \frac{(\text{BF pic spectro. 3 sondes})}{(\text{BF pic spectro. légère})}$$

Le rapport des rendements vient d'être calculé et la valeur des bruits de fond a été mesurée.

Nous obtenons de cette façon les rapports de sensibilité suivants :

$$\frac{\text{Sensibilité spectro. légère}}{\text{Sensibilité spectro. 3 sond.}} \text{Cr } 51 (0,32 \text{ MeV}) = 0,47$$

$$\frac{\text{Sensibilité spectro. légère}}{\text{Sensibilité spectro. 3 sond.}} \text{Au } 198 (0,41 \text{ MeV}) = 0,87$$

$$\frac{\text{Sensibilité spectro. légère}}{\text{Sensibilité spectro. 3 sond.}} \text{La } 140 (1,6 \text{ MeV}) = 0,7$$

## B - INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

L'idée de simplifier les appareillages de spectrométrie gamma humaine n'est pas nouvelle. Avec DERAY PARKER et JESSE ANDERSON, RAB MOLLA et SIMPSON [3] ont proposé une autre formule. VENNART [4] avait déjà souligné l'intérêt d'appareillage très simple. On retrouve également des suggestions de compteur humain simplifié utilisable en clinique [5] ou en systématique, pour la surveillance d'une population [6]. Mais, exceptés les deux premiers travaux cités, on n'a pas en général de résultats expérimentaux systématiques.

La comparaison de nos résultats avec les résultats de ces auteurs n'est pas aisée car DERAY PARKER et JESSE ANDERSON ne comparent la sensibilité de leurs installations que dans le cas du caesium; ils trouvent d'ailleurs dans ce cas un rapport très voisin de celui que nous obtenons. Quant à RAB MOLLA et SIMPSON, ils ne comparent pas leurs résultats à ceux qu'ils obtiendraient avec une installation complète.

Pour comparer les deux ensembles de mesure, il a paru préférable et plus sûr de proposer cette définition de la sensibilité. Nous sommes en présence d'un appareil dont l'objet n'est pas la mesure de précision mais le tri. Or, le seuil de sensibilité obtenu à partir de cette définition est très bas et il aurait été illusoire de rechercher une plus grande précision en prenant par exemple un seuil de mesure supérieur à trois fois la racine carrée du bruit de fond. L'absence de blindage important rend en effet le mouvement propre de cet ensemble beaucoup plus aléatoire que celui qu'on obtient dans une enceinte classique. De plus, pour des contaminations de très bas niveaux, la morphologie (ou la géométrie) du sujet joue certainement un rôle important. L'essentiel était d'ailleurs de pouvoir comparer deux installations dans des conditions de signification certaine.

Quelle que soit la définition de sensibilité proposée, il apparaît que cette installation légère, peu encombrante et d'un prix très inférieur à celui d'une installation complète, est très sensible.

Si on compare nos résultats aux valeurs des charges corporelles admissibles de la Commission Internationale de Protection Radiologique [7], on voit dans le tableau ci-après qu'on peut détecter environ le 1/1 000 de la QMA pour les éléments testés :

	Sensibilité	QMA organisme entier	Rapport $\frac{\text{sensibilité}}{\text{QMA}}$
Au 198	36 nCi	40 $\mu$ Ci	# 1/1 000
Cs 137	21 nCi	30 $\mu$ Ci	# 0,7/1 000
Na 24	11 nCi	7 $\mu$ Ci	# 1,5/1 000
La 140	14,8 nCi	10 $\mu$ Ci	# 1,5/1 000

La comparaison a été systématiquement faite avec la QMA de l'organisme entier car cet appareillage ne permet pas de faire d'autres mesures que celles qui intéressent l'organisme entier. C'est sans doute la position du collimateur au contact du creux épigastrique du patient qui permet d'expliquer cette sensibilité remarquable. En effet, le scintillateur « regarde » une région de l'organisme où se retrouvent la partie inférieure des poumons, l'intestin grêle et le colon transverse, le foie, la rate, le pancréas et l'aorte abdominale. Aussi cette position doit-elle donner les conditions optima de détection précoce de la plupart des contaminations récentes par inhalation ou par ingestion, et permet-elle également de détecter des contaminations internes plus anciennes puisqu'une partie non négligeable de la masse sanguine est vue par le collimateur.

On conçoit même que si des examens complets mais forcément espacés peuvent laisser échapper une contamination digestive, l'utilisation d'un appareil de ce type permettrait de faire des examens plus fréquents et de détecter des contaminations qui en temps normal passeraient inaperçues.

\*\*

## CONCLUSION

Il est assez étonnant qu'une installation aussi simple donne des performances aussi proches de celles de la spectrométrie classique.

Cette installation légère et mobile pourrait être utilisée pour la surveillance systématique de routine du personnel exposé aux rayonnements. Dans le cas de dépistage de contamination interne à des niveaux très inférieurs aux charges corporelles admissibles, les sujets contaminés pourraient alors être adressés à un service possédant une installation complète et permettant de faire le calcul de charge.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] DERAY PARKER et JESSE I. ANDERSON. A portable whole body counter *Health Physics* 13, 141-148, 1967.
- [2] FABRE J., FLAUDER M., FROSSARD H., ANDRIEU L. Mannequin à formes géométriques simples utilisable en spectrométrie gamma humaine. Rapport technique n° 9/CRSSA/HA/1967.
- [3] RAB MOLLA et SIMPSON. Application of a simple whole-body counter to radiation protection. *Health Physics* 13, 861-867, 1967.
- [4] VENNART J. External counting In diagnosis and treatment of radioactive poisoning. Proceedings series - *A.I.E.A.* - Vienne, 1963.
- [5] Whole-body counting Proceeding series - *A.I.E.A.* - Vienne, 1962.
- [6] DOBELN. A mobile whole-body counter in Radioactivity in man II Charles Thomas - Springfield, USA, 25-26, 1965.
- [7] Rapport du Comité II de la Commission Internationale de Protection Radiologique. Gauthiers-Villars, éd., Paris.