notes

La radioactivité de l'environnement: une méthode rapide d'estimation de l'exposition externe du public *

Ch. MURITH **

(Manuscrit reçu le 8 janvier 1986)

RÉSUMÉ

Depuis plusieurs années, la spectrométrie gamma *in situ* fait partie du programme de surveillance de la radioactivité dans le voisinage des centrales nucléaires suisses. Avant l'accident de Tchernobyl, cette technique de mesure a principalement permis de déterminer les concentrations moyennes des différentes composantes de la radioactivité naturelle et leur contribution à l'exposition externe du public. En effet, à part le ^{137}Cs provenant encore de la retombée radioactive des essais atomiques des années 60 aucune contamination additionnelle n'avait pu être mise en évidence. A la suite de l'accident de Tchernobyl, l'exploitation de la spectrométrie gamma *in situ* dans différentes régions suisses montre qu'il est possible d'obtenir une quantification rapide et fiable du niveau de la contamination et d'en suivre l'évolution. Les comparaisons avec d'autres procédés de mesure permettent d'affirmer que la spectrométrie gamma *in situ* s'adapte spécialement à la détection des radionucléides rejetés par des installations nucléaires dans l'environnement et ce avec une bonne sensibilité.

ABSTRACT

For several years field gamma spectrometry is being used in Switzerland in order to monitor the environmental radioactivity in the neighbourhood of nuclear power plants. Before Chernobyl such measurements especially allowed the determination of naturally occurring radionuclides and the resulting external radiation exposure. The only significant man-made radioactivity was due to the nuclear atmospheric tests in the early 1960's. The accident of Chernobyl has altered this situation. *In situ* measurements performed in Switzerland to quantify Chernobyls fallout have shown that in addition to natural radioactivity, this method also allows to detect, in a short period of time, radioactive releases from nuclear power stations to the environment with a good sensitivity. Comparisons with other experimental measuring methods confirm the validity of the results obtained by *in situ* gamma spectrometry.

* Prix SFRP 1986.

** Commission fédérale de surveillance de la radioactivité, Institut de physique de l'Université, Pérolles, CH-1700 Fribourg, Suisse.

INTRODUCTION

La radioactivité naturelle de l'environnement provient du rayonnement terrestre et du rayonnement cosmique. Elle constitue l'étalon avec lequel nous devons apprécier les irradiations complémentaires.

La méthode conventionnelle d'analyse gamma en laboratoire d'échantillons prélevés est la plus couramment utilisée pour déterminer les activités des radionucléides présents dans le sol. Laborieuse et coûteuse en temps, cette méthode dépend de la qualité de l'échantillon, de son acheminement et de sa préparation au laboratoire et ne renseigne pas directement sur l'exposition externe du public résultant des radionucléides identifiés.

La spectrométrie gamma *in situ* permet, par contre, de mieux quantifier la radioactivité de l'environnement. En effet, elle offre la possibilité de déterminer *rapidement* les concentrations moyennes des radionucléides naturels ou artificiels contenus dans le sol ou déposés en surface ainsi que leur contribution à l'exposition externe du public. Cette connaissance est importante, par exemple, dans le cadre de l'établissement du constat radiologique dans le voisinage d'une installation nucléaire, où il s'agit de caractériser le site quant à sa radioactivité naturelle et artificielle avant la mise en marche de l'installation (point zéro). De surcroît, la spectrométrie gamma *in situ* permet de déterminer avec une bonne sensibilité l'impact des émissions radioactives qu'il s'agit de distinguer du fond naturel relativement élevé et de ses fluctuations.

1. RADIOACTIVITÉ NATURELLE

A. Rayonnement terrestre

Spectrométrie gamma in situ à l'aide d'un détecteur Ge(HP)

Ce procédé de mesure est décrit dans les références [1, 3, 4]. Il se fonde sur le calcul des facteurs d'étalonnage N/A (cps/Bq.kg^{-1}) ou (cps/Bq.m^{-2}) selon la distribution de l'activité et du facteur N/D (cps/nSv.h^{-1}) correspondant. Le système de mesure et la méthode d'évaluation sont exposés en détail dans [3]. En divisant les impulsions $N(\text{cps})$ enregistrées dans le spectre gamma mesuré (fig. 1) par ces facteurs, on obtient l'activité de chaque radionucléide identifié et le débit d'exposition qui en résulte (fig. 2). La concordance des résultats ainsi obtenus avec ceux des analyses en laboratoire d'échantillons de terre prélevés sur les sites considérés est satisfaisante [3].

Fig. 2. — Résultats de l'évaluation du spectre de la figure 1.

Toutefois, le calcul de la concentration des descendants de ^{238}U doit tenir compte d'une part de la raie commune à 186 keV au ^{226}Ra et à ^{235}U et

d'autre part de l'émanation du radon. Celle-ci dépend principalement des caractéristiques du sol et des conditions météorologiques. A titre d'exemple, la figure 3 présente les variations des concentrations des descendants du radon mesurées à 1 m du sol à l'aide d'un WL Monitor EDA Instruments autour de la centrale nucléaire de Leibstadt durant 24 h. Un milliworking level (mWL) correspond à 7,4 Bq par m³ d'air de ²²²Rn. En admettant un facteur d'équilibre de 50 % entre le radon et ses descendants, 1 mWL = 3,7 Bq/m³ pour la concentration des descendants du radon dans l'air.

Fig. 3. — Variation journalière de la concentration des descendants du ²²²Rn dans l'air, 1 m au-dessus du sol dans le voisinage de la centrale nucléaire de Leibstadt.

B. Rayonnement cosmique

Débit d'exposition mesuré à l'aide d'une chambre d'ionisation Reuter & Stokes

L'estimation de la composante ionisante des rayonnements cosmiques a nécessité des mesures du débit d'exposition effectuées à l'aide d'une chambre d'ionisation lors d'un vol en ballon jusqu'à une altitude de 3 500 m. Des mesures additionnelles sur le lac de Neuchâtel, où la composante terrestre est absorbée par l'eau du lac, ont permis une bonne extrapolation de cette contribution cosmique au niveau du sol. La figure 4 donne une illustration des résultats de ces mesures et une comparaison avec la courbe déterminée par Lowder & Beck [2].

Fig. 4. — Mesures de la composante ionisante des rayonnements cosmiques en fonction de l'altitude comparée à la courbe de la référence [2].

C. Résultats

La spectrométrie gamma *in situ* est utilisée depuis plusieurs années pour surveiller l'environnement des centrales nucléaires en Suisse. Avant l'accident de Tchernobyl, l'application de cette technique dans le voisinage des centrales nucléaires a essentiellement permis de déterminer les composantes de la radioactivité naturelle et l'exposition externe qui en résulte pour le public (fig. 5). Comme le montre cette figure, le seul radionucléide artificiel décelé alors était le ^{137}Cs provenant encore des retombées des anciennes

Fig. 5. — Les différentes contributions à l'exposition externe avant l'accident de Tchernobyl.

explosions nucléaires. La fiabilité des résultats obtenus par spectrométrie gamma *in situ* est confirmée aussi bien en ce qui concerne les concentrations radioactives par les analyses comparatives effectuées au laboratoire qu'en ce qui concerne l'exposition externe du public par les mesures de débit d'exposition opérées simultanément sur le terrain. Ces comparaisons figurent et sont discutées dans [3]. Il en ressort principalement que le modèle de répartition homogène de l'activité reproduit de manière fiable la distribution des séries ^{235}U , ^{238}U et ^{232}Th dans le sol. Par contre, la présence du potassium dans les engrais minéraux et la décroissance exponentielle avec la profondeur du sol du ^{137}Cs issu des anciens essais atomiques peuvent altérer l'homogénéité et donc la précision avec laquelle le modèle reflète la répartition du ^{40}K et du ^{137}Cs . En outre, pour ^{137}Cs , l'inhomogénéité est plus accentuée s'il s'agit d'un sol non cultivé.

2. RADIOACTIVITÉ ARTIFICIELLE

Le dépôt des radionucléides artificiels provenant de Tchernobyl a évidemment altéré les niveaux de référence contrôlés annuellement par spectrométrie gamma *in situ* en 4 endroits du voisinage de chaque centrale nucléaire suisse. La figure 6 illustre cette modification incombant principalement aux retombées de ^{134}Cs et ^{137}Cs occasionnées par Tchernobyl. Le dispositif de spectrométrie gamma *in situ* a été exploité dans différentes régions suisses pour quantifier les retombées radioactives consécutives à l'accident de Tchernobyl (fig. 7). A titre d'exemple, la figure 8 montre un spectre mesuré le 15.5.86 dans le Jura. Le résultat de son évaluation est traduit graphiquement dans la figure 9. Dans la région suisse la plus touchée, le Tessin, l'évolution de la situation post-Tchernobyl a été suivie plus intensément. La figure 10 en donne l'illustration pour 3 différentes dates aussi bien au niveau de la présence de l'activité que de la contribution des divers radionucléides à l'exposition externe du public.

Fig. 6. — Altération des niveaux de référence mesurés autour des centrales nucléaires suisses à la suite de l'accident de Tchernobyl.

NOTES

Fig. 7. — Points de mesures de spectrométrie gamma *in situ* en Suisse.

Fig. 8. — Spectre gamma *in situ* 2000 s mesuré dans le Jura après l'accident de Tchernobyl.

Fig. 9. — Résultats de l'évaluation du spectre de la figure 8 comparés à ceux obtenus en laboratoire pour les échantillons d'herbe et de terre correspondants.

Fig. 10. — Suivi de la contamination due à Tchernobyl au Tessin.

Pour suivre cette évolution avec le temps, il faut tenir compte de la pénétration des radionucléides dans le sol et utiliser dans ce cas un modèle de répartition exponentielle. La longueur de relaxation alpha qui entre comme paramètre dans ce modèle est déterminée à partir des analyses en laboratoire d'échantillons de sol prélevés à différentes profondeurs.

L'ensemble de ces mesures permet aussi de distinguer le ^{137}Cs provenant des anciens essais atomiques de celui déposé à la suite de l'accident de Tchernobyl.

CONCLUSION

L'exploitation de la spectrométrie gamma *in situ* conduit à un progrès dans la connaissance des composantes de la radioactivité de l'environnement. Comme l'indique le schéma ci-après, cette méthode permet d'estimer rapidement à la fois les concentrations radioactives des différents radionucléides présents dans l'environnement ainsi que leur contribution à l'exposition externe du public.

NOTES

Comme l'ont montré les mesures post-Tchernobyl, la spectrométrie gamma *in situ* peut être utilisée avec une bonne fiabilité pour quantifier une contamination en surface par des radionucléides artificiels.

La précision des résultats est conditionnée par la qualité des modèles de distribution de l'activité qui interviennent dans l'étalonnage. Sur la base des mesures effectuées, il ressort que la déviation entre les concentrations radioactives déterminées par spectrométrie gamma *in situ* et celles obtenues pour les analyses en laboratoire est inférieure à 20 %. L'écart entre l'exposition externe totale calculée à partir des mesures gamma *in situ* et celle mesurée simultanément sur le site à l'aide d'une chambre d'ionisation n'excède pas 10 %.

La spectrométrie gamma *in situ* s'applique avantageusement à la mesure des accumulations à long terme des radionucléides rejetés par les installations nucléaires en fonctionnement normal. A la suite de rejets accidentels incombant à une installation nucléaire, l'exploitation de la spectrométrie gamma *in situ* permet l'évaluation rapide de la contamination du sol ou de l'air (gaz rares, iode) et favorise la planification de mesures d'urgence si nécessaires.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BECK H.L., DE CAMPO J., GOGOLAK C.V. *In situ* Ge(Li) and NaI(Tl) "gamma-ray spectrometry". HASL-258, 1972.
- [2] LOWDER W.M., BECK H.L. Cosmic-ray ionization in the lower atmosphere. *J. Geophys. Res.*, 1966, 71, 4661-4668.
- [3] MURITH CH., VÖLKLE H., HUBER O. Radioactivity measurements in the vicinity of Swiss nuclear power plants. *Nucl. Instr. Meth.*, 1986, A243, 549-560.
- [4] WINKELMANN I., HAIMERL W., WUTZ J. Nuklidspezifische Messungen der Ortsdosisleistung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. ISH-Bericht-12, 1982.