

3.1

Mesures in situ & exposition externe

S. Estier, A. Gurtner

Section Radioactivité de l'environnement, URA, Office fédéral de la santé publique OFSP, Berne

Résumé

En 2019, les mesures de spectrométrie in situ ont essentiellement porté sur le voisinage des installations nucléaires et des centres de recherche (PSI et CERN) ainsi que sur le suivi de la contamination rémanente en ^{137}Cs issue des essais nucléaires atmosphériques et de l'accident de Tchernobyl. Même si cette contamination reste plus importante au Tessin et localement dans les régions montagneuses (Alpes, Jura) par rapport au Plateau suisse, les résultats de spectrométrie in situ 2019 n'ont signalé aucune valeur susceptible de représenter un risque pour la santé du public.

Introduction

Le réseau NADAM à l'échelle nationale et le réseau MADUK au voisinage des installations nucléaires assurent 24h sur 24 le suivi permanent de l'exposition ambiante en Suisse et signalent des augmentations anormales de celle-ci. Afin de déterminer les compositions individuelles à l'exposition ambiante globale que ces réseaux ainsi que les mesures effectuées avec des dosimètres à thermoluminescence ne permettent pas, les laboratoires mobiles de l'OFSP (Section URA, Berne), de l'IFSN (Brugg), du Laboratoire de Spiez et de l'IRA (Lausanne) utilisent la spectrométrie gamma directe sur site (in situ) souvent liée à des mesures de spectrométrie gamma effectuées en laboratoire sur des échantillons (sol, herbe) qui visent, quant à elles, la détection de traces de radionucléides.

La spectrométrie gamma in situ a l'avantage de permettre l'identification des radionucléides (émetteurs gamma) présents sur le site examiné, de déterminer leurs activités et de calculer leur contribution individuelle à l'exposition du public. La spectrométrie gamma in situ informe ainsi de manière sensible et réaliste sur les concentrations moyennes des radionucléides gamma ainsi que sur l'exposition ambiante qui en résulte.

Méthodologie in situ

L'exploitation de la spectrométrie gamma in situ en Suisse se base largement sur les recommandations ICRU¹, notamment pour la détermination de l'activité des radionucléides présents sur le site. Les coefficients de conversion permettant la détermination des diverses contributions au débit d'exposition à partir des concentrations radioactives dans le sol ont par contre été revus par rapport à ceux de la publication ICRU 53, car ils ne correspondaient plus aux standards actuels. En effet, la grandeur dosimétrique de référence pour la détermination de l'exposition du public (irradiation externe) est aujourd'hui le débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$, exprimé en [nSv/h], et non plus le débit de kerma dans l'air, en [nGy/h]. Les coefficients de conversion actuellement utilisés au laboratoire de l'OFSP sont détaillés plus bas^{2,3}.

Lors d'une mesure sur le terrain, un spectre gamma est enregistré et le débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ global est mesuré simultanément sur le site à l'aide d'une chambre d'ionisation. L'analyse du spectre gamma in situ permet tout d'abord d'identifier les différents radionucléides naturels et artificiels présents sur le site puis, en se référant à la publication ICRU 53, de calculer leur concentration radioactive respective dans le sol en [Bq/kg] ou [Bq/m²], si leur distribution dans le profil de sol est connue (déposition en surface, distribution homogène des radionucléides dans le sol, décroissance exponentielle, etc.).

L'étape suivante consiste à évaluer les contributions individuelles au débit de dose ambiant des divers radionucléides identifiés sur le spectre in situ à partir de leur concentration radioactive calculée précédemment. Les facteurs de conversion de l'activité spécifique au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ utilisés par notre laboratoire pour les séries naturelles de ²³⁸U et du ²³²Th ainsi que pour le ⁴⁰K et le ¹³⁷Cs, dans le cas d'une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol, sont résumés dans le tableau 1^{2,3}.

La contribution d'origine naturelle au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ s'obtient par sommation des composantes locales du rayonnement terrestre (⁴⁰K, séries ²³⁸U et ²³²Th), évaluées pour une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol, avec la contribution du rayonnement cosmique calculée à l'altitude du site. Notons que la formule permettant de calculer la contribution du rayonnement cosmique au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ a également du être adaptée par rapport à celle anciennement utilisée pour le débit de kerma dans l'air⁴, et s'écrit :

$$H^*(10)_{\text{cosm}} [\text{nSv/h}] = 37 \cdot \exp(0.38 \cdot Z)$$

où Z est l'altitude en km.

Pour connaître la contribution des radionucléides artificiels au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$, deux approches sont possibles. La première consiste à soustraire la contribution d'origine naturelle, calculée précédemment, à la valeur globale de $H^*(10)$ mesurée avec une chambre d'ionisation. Cette démarche ne fournira que la contribution artificielle globale au débit d'équivalent de dose ambiant, mais possède l'avantage de ne nécessiter ni échantillonnage, ni hypothèse sur la distribution des radionucléides artificiels dans le sol.

Si par contre, la distribution dans le sol de chacun des radionucléides artificiels présents sur le site est connue, on choisira plutôt de calculer leur contribution respective à l'exposition à partir de leur concentration radioactive dans le sol. La somme des contributions naturelles et artificielles calculées à partir des spectres in situ est alors comparée à la valeur globale mesurée avec la chambre d'ionisation, afin d'évaluer la fiabilité de la méthode de reconstitution.

Tableau 1:

Facteurs de conversion de l'activité spécifique en débit d'équivalent de dose ambiant $H^(10)$ utilisés par l'OFSP pour les séries naturelles de ²³⁸U et du ²³²Th ainsi que pour le ⁴⁰K et le ¹³⁷Cs, dans le cas d'une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol^{2,3}.*

Nucléide	[nSv·h ⁻¹ /Bq·kg ⁻¹]
Série ²³⁸ U (total)	0.564
Série ²³² Th (total)	0.749
⁴⁰ K	0.0512
¹³⁷ Cs	0.192

1 ICRU-Report 53 «Gamma-Ray Spectrometry in the Environment» 1994, ISBN 0-913394-52-1.

2 Lemerrier et al., «Specific Activity to $H^*(10)$ conversion coefficients for in situ gamma spectrometry», Radiation Protection Dosimetry (2008), Vol 128, No. 1, pp.83-89. Advance Access publication 17 October 2007.

3 <https://www.bag.admin.ch/dam/bag/fr/dokumente/str/kommission-strahlenschutz/stellungnahmen-dosimetrie/2010-empfehlung-umrechnungsfaktoren-gammaspectrometrie.pdf.download.pdf/2010-empfehlung-umrechnungsfaktoren-gammaspectrometrie.pdf>

4 Radioprotection, vol. 22 n° 3, pages 231-239, 1987.

Résultats in situ 2019

En 2019, les mesures de spectrométrie gamma in situ ont été réalisées au voisinage des centrales nucléaires de Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) et Mühleberg (KKM) et des centres de recherche (PSI, ZWILAG, CERN) ainsi qu'au Tessin, région de Suisse la plus touchée par les retombées de l'accident de Tchernobyl, conformément au programme de surveillance habituel. Depuis 2017, des mesures complémentaires sont effectuées au voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg en vue d'évaluer plus précisément la situation radiologique avant le début des travaux de désaffectation (programme de mesures «Point zéro»), prévus dès le début 2020.

Des mesures par spectrométrie gamma in situ ont également été effectuées sur les trois sites de référence pour la surveillance de la radioactivité dans l'environnement en Suisse, à savoir Grangeneuve-Posieux/FR, Güttingen/TG et Cadenazzo/TI. Quelques points particuliers ont également été examinés en 2019, le col du Susten et les cinq nouveaux emplacements des stations du réseau NADAM. Cette méthode a également été utilisée lors de l'exercice général d'urgence GNU19.

Les contributions respectives au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ des différents radionucléides identifiés par spectrométrie gamma in situ (descendants compris pour les séries naturelles) sont représentées sur les figures 1, 3 et 4 pour les principaux sites suisses examinés en 2019. Ces contributions ont été calculées à partir des spectres gamma in situ, en supposant une distribution homogène de tous les radionucléides dans le sol, y compris pour le ^{137}Cs artificiel. Afin d'apprécier la fiabilité de la reconstitution, la valeur de la mesure globale avec chambre d'ionisation avec son incertitude est également représentée.

La figure 1 montre que les radionucléides détectés au voisinage des centrales nucléaires, du PSI et du ZWILAG ainsi que leur contribution au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ se distinguent généralement peu de ceux enregistrés sur les sites de référence, situés hors influence de ces installations, comme Güttingen ou Posieux. Le seul émetteur gamma d'origine artificielle mis en évidence sur l'ensemble de ces sites en 2019 est le ^{137}Cs .

Les valeurs plus élevées de débit de dose enregistrées au voisinage de la centrale de Mühleberg en particulier à Salvisberg, Niederruntigen, Fuchsenried et Ufem Horn (fig. 1) sont d'origine naturelle. Elles sont en effet essentiellement dues aux concentrations plus importantes de ^{40}K dans le sol, ainsi que, dans une moindre mesure, au rayonnement cosmique légèrement plus élevé en raison de l'altitude supérieure de ces sites.

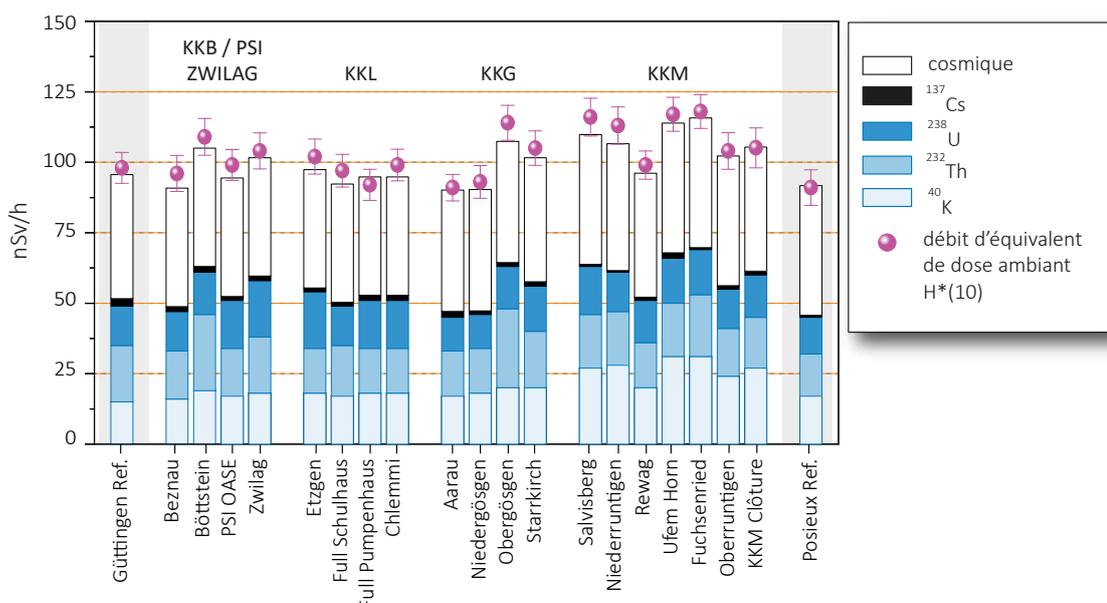


Figure 1:

Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculées à partir des spectres in situ (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés au voisinage des centrales nucléaires suisses en 2019 ainsi qu'aux points de référence de Güttingen/TG et Posieux/FR (en grisé). La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée.

A noter également que les résultats des mesures effectuées à Rewag (fig. 1) diffèrent de ceux enregistrés par le passé. Les travaux de construction de la citerne d'eau potable (terminés en 2017) ont rendu l'accès à l'ancien point de mesure impossible. Ce point a donc été déplacé d'environ 300 mètres. La composition du remblai déposé sur le site suite aux aménagements diffère de celle du sol originellement présent qui était essentiellement composé de sable. Ceci explique l'augmentation des valeurs de ^{40}K , ^{228}Ac et ^{214}Bi (séries Th/U) par rapport aux résultats des mesures des années précédentes.

La situation radiologique au voisinage de la centrale nucléaire de Mühleberg, qui a été mise à l'arrêt fin 2019, est généralement bien connue car le site fait l'objet d'une surveillance régulière depuis le début de la période d'exploitation de la centrale. Toutefois, afin de pouvoir évaluer l'impact radiologique éventuel des travaux de désaffectation, un programme de surveillance renforcé a été initié en 2017 pour une durée de 3 ans avant le début des travaux de démantèlement. Ce programme comprend l'analyse de radionucléides spéciaux, mais également des mesures in situ supplémentaires, sur des sites situés à proximité immédiate de la centrale (fig. 2). En effet, contrairement à un rejet éventuel par voie atmosphérique tel qu'il pourrait se produire en période d'exploitation, l'éventuel impact des travaux de désaffectation devrait être localisé dans un périmètre plus restreint.

La figure 2 indique l'emplacement des sept sites examinés en 2019 au voisinage de Mühleberg. En plus de Salvisberg, Rewag, Niederruntigen, Ufem Horn qui font l'objet d'un suivi depuis de nombreuses années, Fuchsenried, Oberruntigen et Clôture KKM sont les trois points supplémentaires mesurés dans le cadre de cette surveillance accrue.



Figure 2:
Emplacement des 7 sites de mesure de spectrométrie gamma in situ et de prélèvement de sol et de végétation dans la région de la centrale nucléaire de Mühleberg en 2019.

Comme en 2017 et 2018 aucune différence notable n'a pu être remarquée entre les sites de la surveillance habituelle et les valeurs mesurées aux 3 points supplémentaires (fig. 1). A noter que pour chacun de ces points, un prélèvement annuel de sol et deux prélèvements (printemps et automne) de végétation ont été réalisés (résultat chap 8.5 les installations nucléaires et leur environnement).

La figure 3 montre les résultats des mesures in situ réalisées au voisinage du CERN en 2019. Ces résultats ne se distinguent pas de ceux enregistrés sur le site de référence de Posieux. Notons que pour l'année 2019 aucune trace de ^{41}Ar dans l'air n'a été décelée dans l'enceinte du centre de recherche (BAT 588) contrairement aux années précédentes. Ce gaz rare de courte période (demi-vie de 109.6 minutes) est produit dans les

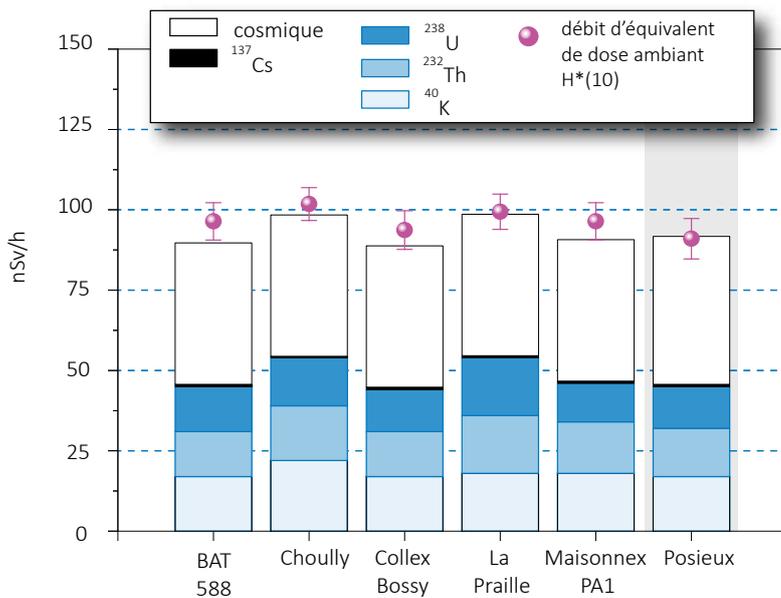


Figure 3: Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculées à partir des spectres in situ (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés en 2019 au voisinage du CERN ainsi qu'au point de référence de Posieux (en grisé). La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée.

accélérateurs du centre de recherche et l'arrêt prolongé des installations du CERN en 2019 explique cette absence.

En plus du suivi des contaminations rémanentes en ¹³⁷Cs au Tessin, un certains nombres de sites supplémentaires ont été examinés en 2019, comme le col du Susten ou encore 5 nouveaux sites NADAM. Dans la mesure du possible, une mesure par spectrométrie gamma in situ est en effet effectuée pour toute nouvelle station NADAM (Cham/ZG, Hallau/SH, Mosen/LU, Thun/BE et Villars-Tiercellin/VD). Le site d'Arenenberg/TG a été également examiné en 2019. Les mesures in situ ainsi qu'un prélèvement de végétation et de sol annuel seront reconduites les années prochaines sur ce site.

La figure 4 montre les résultats des mesures effectuées au Tessin et sur les sites supplémentaires mesurés en 2019. Hormis des traces de ¹³⁷Cs, plus importantes dans le Nord-Est de la Suisse (Güttingen, Arenenberg) en raison de retombées plus importantes de Tchernobyl par rapport à l'ouest ou au centre de la Suisse (Thun, Villars), les résultats des mesures in situ n'ont

mis en évidence aucun radionucléide d'origine artificielle sur ces sites. A noter que le débit d'équivalent de dose le plus élevé a, comme attendu, été mesuré au col du Susten (2'260 m d'altitude) où le rayonnement cosmique⁵ est presque doublé par rapport aux sites de plaine.

⁵ formule de calcul de la contribution du rayonnement cosmique - page 39

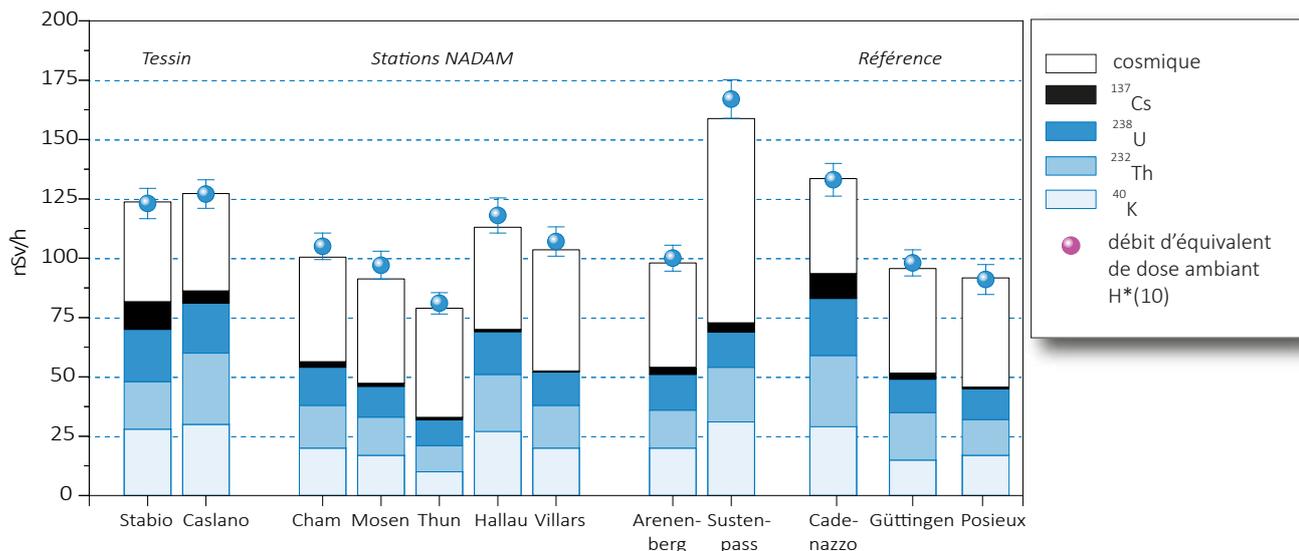


Figure 4: Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculées à partir des spectres in situ (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés en 2019 au Tessin, aux cinq nouvelles stations NADAM, à Arenenberg et au col du Susten ainsi que sur les trois sites de référence. La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée.

Au Tessin, la contamination rémanente en ^{137}Cs , issue des retombées des essais nucléaires des années 50 et 60 et surtout de celles de l'accident de Tchernobyl (1986), est toujours clairement visible. Comme le montre la figure 4, les concentrations de ce radionucléide dans le sol varient de façon importante d'un site à l'autre au sein du canton, il s'avère donc difficile de définir une valeur de référence unique pour la contamination du sol en ^{137}Cs au Tessin. Ces variations s'expliquent d'une part par les différences de dépositions initiales, directement proportionnelles aux précipitations lors du passage du nuage radioactif post-Tchernobyl, et en fonction de l'altitude pour les contributions des essais atomiques des années 50 et 60, et d'autre part par les différences de nature et de traitement des sols depuis 1986 (travaux, sols retournés ou non, etc.).

Notons encore que pour tous les sites examinés, les différences entre reconstruction in situ et mesures globales par chambre d'ionisation sont restées inférieures à 10 %.

Conclusions

Les mesures de spectrométrie gamma in situ réalisées par l'OFSP en 2019 ont permis de caractériser les sites d'intérêt du point de vue de leur composition en radionucléides gamma et des contributions individuelles au débit d'exposition qui en résultent pour le public. Le champ d'application de ces mesures a visé à répondre à des objectifs d'ordre réglementaire (voisinage des installations nucléaires suisses) et d'ordre radioécologique (suivi des contaminations ^{137}Cs des retombées des essais nucléaires et de Tchernobyl).

De manière générale, elle a permis de distinguer les composantes naturelles et artificielles de la radioactivité gamma et de s'assurer de la pertinence de l'information acquise par comparaison du débit d'équivalent de dose ambiant $\text{H}^*(10)$ calculé à partir de l'analyse spectrométrique à celui mesuré avec une chambre d'ionisation.

Au niveau national, même si les concentrations plus élevées de ^{137}Cs dues aux retombées de Tchernobyl sont toujours plus importantes au Tessin et localement dans les régions montagneuses par rapport au plateau Suisse, les résultats, en termes d'exposition du public, n'ont mis en évidence aucune valeur susceptible de représenter un danger pour la santé de la population.

Chapitre / Kapitel 3

Rayonnement externe Externe Strahlung

2019

- Mesures in situ & exposition externe
- Réseau NADAM
- Mesures d'aéroradiométrie
- In situ Messungen
- Netzwerk NADAM
- Aeroradiometrische Messungen