



Chapitre
Kapitel
3

Rayonnement
externe

Externe
Strahlung

Mesures in situ
Réseau NADAM
Mesures d'aéroradiométrie

In situ Messungen
Netzwerk NADAM
Aeroradiometrische Messungen

2021

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

Les campagnes de mesures de spectrométrie gamma in situ ont essentiellement porté sur le voisinage des centrales 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 pour l'année 2021. Cette contamination reste plus importante au Tessin et dans le nord-est de la Suisse par rapport au Plateau suisse, mais malgré cela, les résultats de spectrométrie in situ 2021 n'ont signalé aucune valeur susceptible de représenter un risque pour la santé du public.

Introduction

Le suivi permanent de l'exposition ambiante repose en Suisse sur les réseaux NADAM (échelle nationale) et MADUK (voisinage des installations nucléaires). L'objectif de ces réseaux en alerte 24h sur 24h est de signaler des augmentations anormales de l'exposition ambiante. Ces mesures, comme celles des dosimètres à thermoluminescence, recensent l'exposition ambiante globale sans permettre d'en distinguer les composantes individuelles. Les mesures de spectrométrie gamma effectuées en laboratoire sur des échantillons s'orientent, quant à elles, avant tout sur la mise en évidence de traces de radionucléides. Les résultats ont un caractère très ponctuel et ne renseignent pas sur l'exposition ambiante. Pour combler cette lacune, les laboratoires mobiles de l'OFSP (Section URA, Berne), de l'IFSN (Brugg), du Laboratoire de Spiez et de l'IRA (Lausanne) misent sur la spectrométrie gamma directe sur site (in situ). En effet, cette méthode possède l'avantage de permettre l'identification des radionucléides émetteurs gamma présents sur le site, d'estimer 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.

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 $[\text{Bq}/\text{kg}]$ ou $[\text{Bq}/\text{m}^2]$, si leur distribution dans le 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 d'équivalent 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 l' ^{238}U et du

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

^{232}Th ainsi que pour le ^{40}K et le ^{137}Cs , dans le cas d'une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol, sont résumés dans le tableau 1^{2,3}.

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 ^{238}U et du ^{232}Th ainsi que pour le ^{40}K et le ^{137}Cs , 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

La contribution d'origine naturelle au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ s'obtient par sommation des composantes locales du rayonnement terrestre (^{40}K , séries ^{238}U et ^{232}Th), évaluées pour une distribution homogène de ces radionucléides dans le sol, avec la contribution du rayonnement cosmique calculée à l'altitude du site. La formule suivante permet de calculer la contribution du rayonnement cosmique au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$

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

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.

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/kommision-strahlenschutz/stellungnahmen-dosimetrie/2010-empfehlung-umrechnungsfaktoren-gammaspektrometrie.pdf.download.pdf/2010-empfehlung-umrechnungsfaktoren-gammaspektrometrie.pdf>

Sites examinés en 2021

En 2021, les mesures de spectrométrie gamma in situ ont été réalisées au voisinage des centrales nucléaires de Beznau (KKB), Gösigen (KKG), Leibstadt (KKL) et Mühleberg (KKM), des centres de recherche (PSI, CERN), du site d'entreposage temporaire de déchets radioactifs (ZWILAG) ainsi qu'au Tessin, région de Suisse la plus touchée par les retombées de l'accident de Tchernobyl, conformément au programme de surveillance habituel.

Grangeneuve-Posieux/FR, Güttingen/TG et Cadenazzo/TI, trois sites de référence pour la surveillance de la radioactivité dans l'environnement en Suisse, ont également été examinés en 2021. Le site d'Arenenberg/TG complète la liste des sites visités en 2021. Cette méthode a également été utilisée dans le cadre du plan d'action radium sur différents sites tels que le Rosengarten à Bümpliz/BE, et à Bienne.

Résultats in situ 2021

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 à 5 pour les sites suisses examinés en 2021. 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 et son incertitude de la mesure globale avec chambre d'ionisation sont également représentées. En 2021, le seul émetteur gamma d'origine artificielle mis en évidence sur l'ensemble des sites est le ^{137}Cs .

Les résultats des mesures effectuées au voisinage des centrales nucléaires, du PSI et du ZWILAG (figure 1) sont semblables à ceux enregistrés sur les sites de référence, situés hors influence de ces installations, comme Güttingen ou Posieux, hormis le ^{41}Ar détecté au point de mesure de Beznau situé près de l'enceinte.

En ce qui concerne la centrale nucléaire de Mühleberg, à l'arrêt depuis décembre 2019 (officiellement hors service en septembre 2020) les mesures in situ ont été réalisées en 2021 sur les sept sites examinés dans le cadre du programme complémentaires «Point zéro Démantèlement KKM 2017-2019» (voir figure 2) dont le rapport établi conjointement par

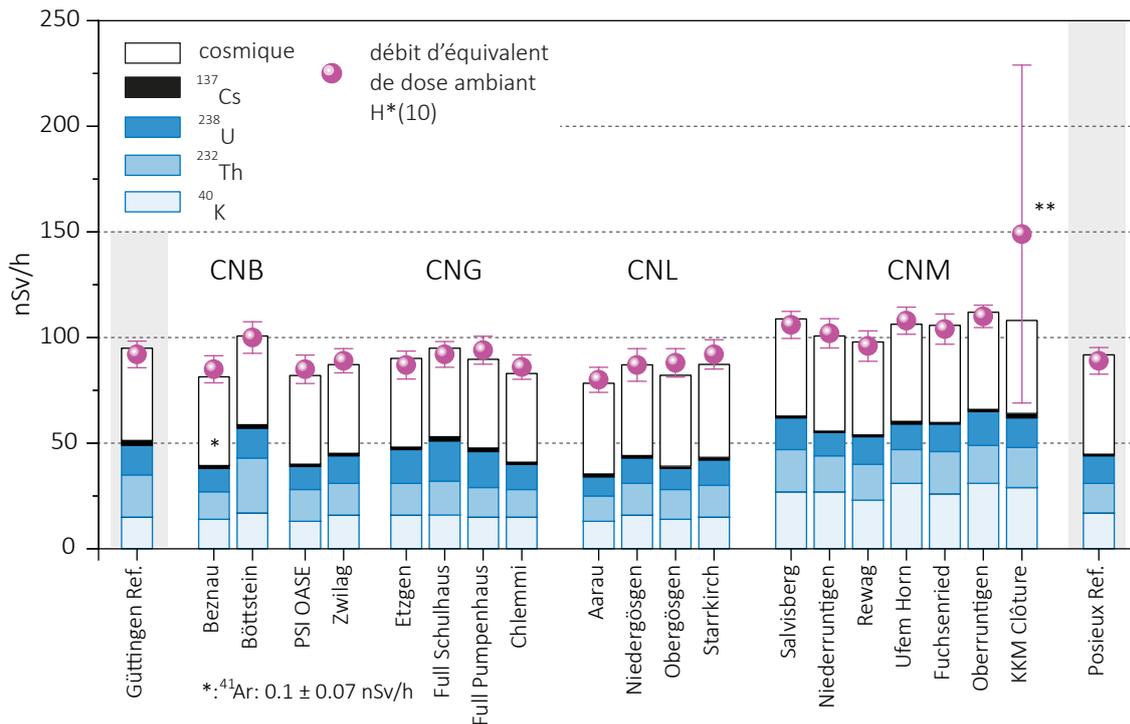


Figure 1:

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 2021 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. ** La valeur plus élevée de débit de dose mesurée à la clôture de KKM est due à la présence de matériaux issus des travaux de démantèlement, stockés temporairement sur le site (voir texte).

l'IFSN et l'OFSP, [Démantèlement de la centrale nucléaire de Mühleberg: Mesures Point Zéro 2017-2019](#)⁴ est consultable sur le site internet de l'OFSP.

Outre les quatre sites examinés au cours de la période d'exploitation, ce programme comprend l'analyse de trois points supplémentaires (Fuchsenried, Oberruntigen et Clôture), situés à proximité immédiate de la centrale. 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 valeur plus élevée de débit d'équivalent de dose ambiant (149 ± 80 nSv/h) mesurée sur le site «clôture», qui comme son nom l'indique est très proche (env. 25 m, voir figure 3) de la barrière d'enceinte de la centrale, est due à la présence de matériel radioactif issu des travaux de démantèlement, entreposé temporairement à l'intérieur du site. Le spectre de la mesure de spectrométrie gamma in situ et l'évolution temporelle des mesures du débit de dose ambiant de la figure 3 illustrent ce cas particulier. Du ⁶⁰Co a été détecté lors de la mesure in situ et des pics du débit de dose ambiant atteignant 450 nSv/h ont été mesurés. La mesure gamma en labo-

ratoire du sol prélevé simultanément ne contenant pas de ⁶⁰Co (< 0.3 Bq/kg) indique bien que ces valeurs sont dues au matériel démonté et entreposé. Une estimation de la contribution au débit d'équivalent de dose ambiant due au rayonnement de ces matériaux issus des travaux de démantèlement peut être obtenue en soustrayant les contributions du ⁴⁰K, du ¹³⁷Cs et des séries de ²³⁸U et ²³²Th ainsi que la contribution du rayonnement cosmique à l'équivalent de dose ambiant total mesuré à l'aide d'une chambre d'ionisation. Cette contribution artificielle est ainsi d'environ 40 nSv/h comprenant entre autres le ⁶⁰Co visible sur le spectre gamma in situ et ev. d'autres éléments non décelables par cette méthode. Lors de ses mesures de contrôle périodique, l'IFSN a également enregistré des valeurs de débit de dose temporairement plus élevée au voisinage de la clôture de la centrale de Mühleberg en 2021 en raison des travaux de démantèlement (voir chapitre 8.2).

La figure 4 montre les résultats des mesures in situ réalisées au voisinage du CERN en 2021. Hormis le ⁴¹Ar détecté au point de mesure de La Praille près de l'enceinte du centre de recherche, ces résultats ne se distinguent pas de ceux enregistrés sur le site de référence de Posieux. Ces traces de ⁴¹Ar détectées dans l'air, proviennent très probablement de l'activation des tunnels du CERN. En 2021, le ²²Na n'a pas été détecté dans le sol des 5 sites

4 https://www.bag.admin.ch/dam/bag/fr/dokumente/str/ura/AutresRapports/KKM_NULLPEGELMESSUNG_2017_2019.pdf.download.pdf/KKM_NULLPEGELMESSUNG_2017_2019.pdf

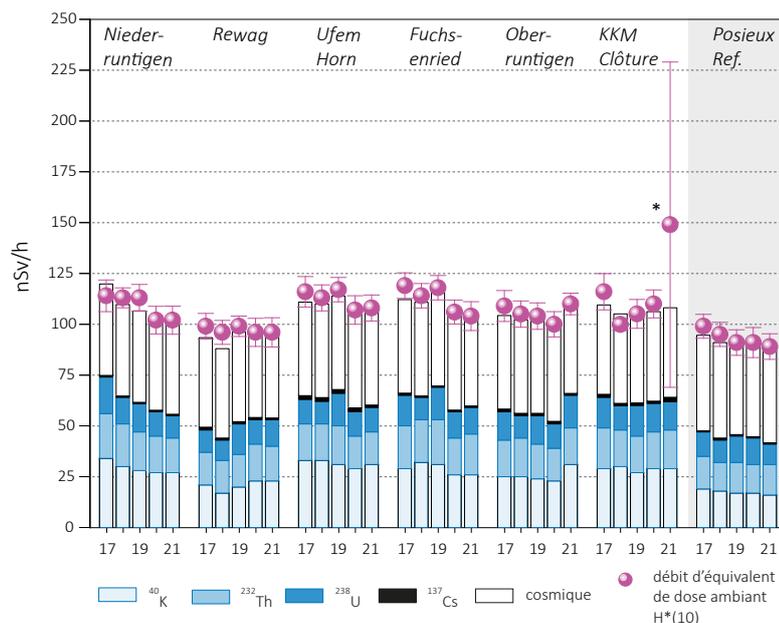


Figure 2:

Suivi 2017-2021 des 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 de la centrale nucléaire de Mühleberg ainsi qu'au point de référence de Posieux/FR (en grisé). La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée. * La valeur plus élevée de débit de dose mesurée à la clôture de KKM en 2021 est due à la présence de matériaux issus des travaux de démantèlement, stockés temporairement sur le site (voir texte).

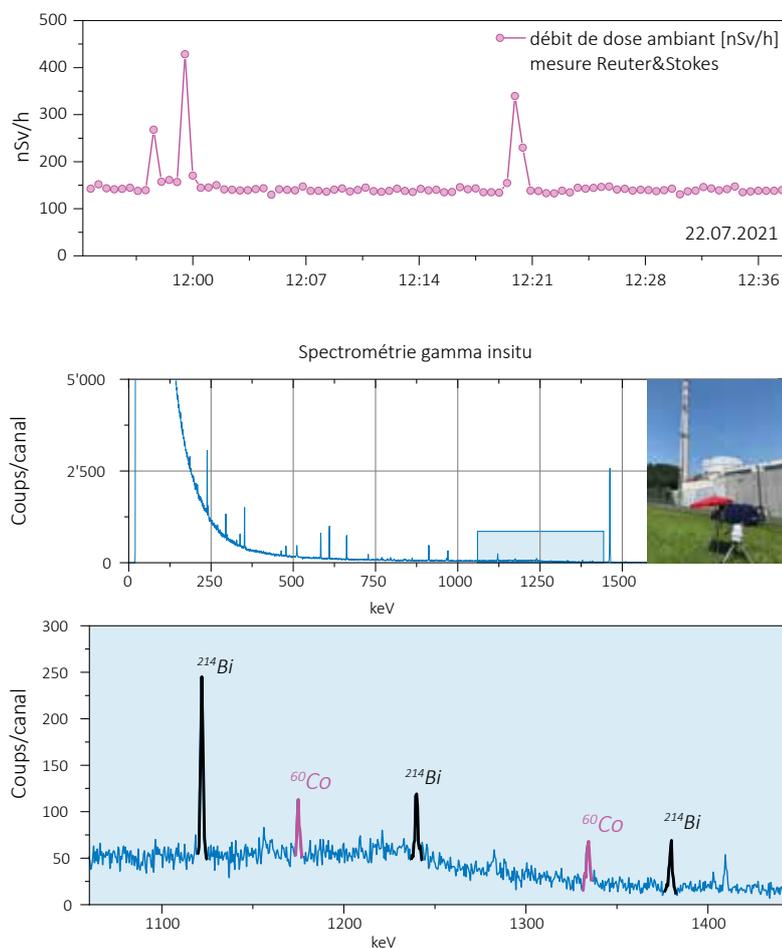


Figure 3:

Valeurs du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ et spectre de mesure in situ gamma effectués au point «Clôture» situé au voisinage proche de l'enceinte de la centrale nucléaire de Mühleberg en 2021.

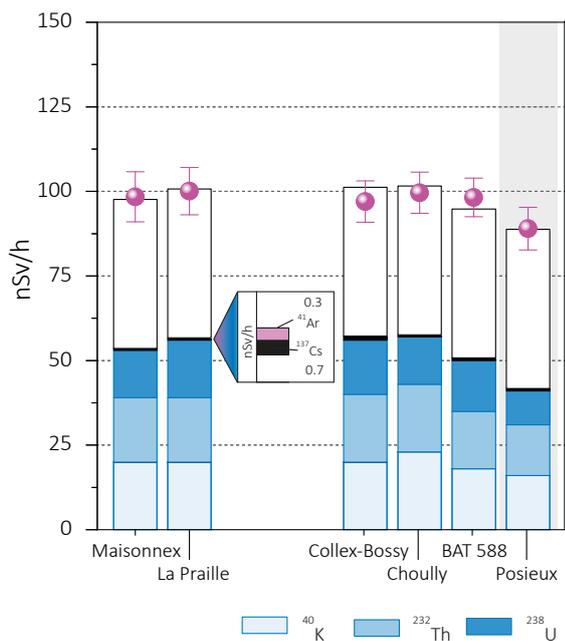


Figure 4 :
Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculées à partir des spectres in situ (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés en 2021 au voisinage du CERN ainsi qu'au point de référence de Posieux (en grisé). La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée.

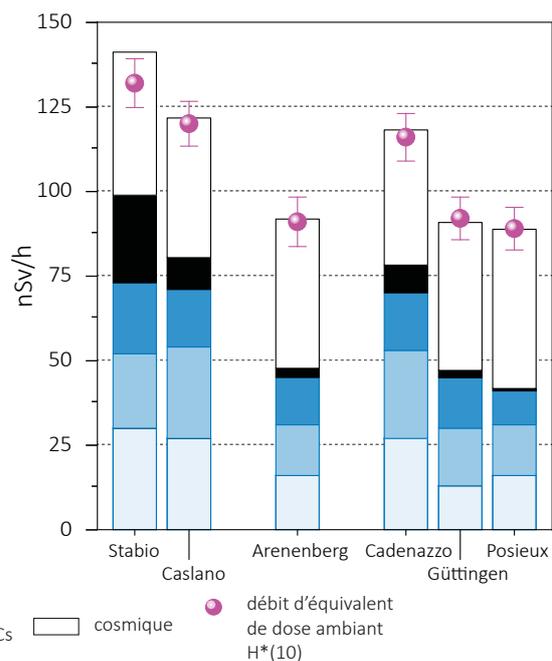


Figure 5 :
Contributions individuelles au débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ calculées à partir des spectres in situ (distribution supposée homogène des radionucléides dans le sol) mesurés en 2021 au Tessin, à Arenenberg ainsi que sur les 3 sites de référence. La mesure globale du débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ avec chambre d'ionisation est également représentée.

examinés.

Au Tessin, comme le montre la figure 5, 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. 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.).

Au Nord-Est de la Suisse (Güttingen, Arenenberg), les retombées de ^{137}Cs dues à l'accident de Tchernobyl ont été plus importantes que sur le reste du plateau suisse, mais sont restées nettement plus faibles qu'au sud des Alpes.

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

Conclusions

Les mesures de spectrométrie gamma in situ réalisées par l'OFSP en 2021 ont permis de caractériser les sites d'intérêt du point de vue de leur composition en radionucléides émetteurs 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 $H^*(10)$ 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 risque pour la santé de la population.