
Rapport de l'exercice de mesure dans le cadre de l'intercomparaison 2021 en spectrométrie gamma

Destinataire : Aux laboratoires de mesure de la radioactivité

Version du : 13.10.2021

Auteurs : Thierry Buchillier, Claude Bailat, François Bochud, IRA

Sybille Estier et Philipp Steinmann, OFSP

Table des matières

1.	Introduction	1
2.	Préparation des échantillons et valeurs de référence.....	3
3.	Résultats et discussion	6
3.1.	Résultats communiqués par les participants	6
3.2.	Méthode d'analyse des résultats	9
3.3.	Discussion des résultats.....	18
4.	Conclusions.....	23
5.	Remerciements	24
6.	Annexe : liste des participants	25

1. Introduction

L'Institut de radiophysique (IRA) est mandaté par l'Institut fédéral de métrologie (METAS) pour la détermination, le maintien et la diffusion de l'unité d'activité, le becquerel. La Section de la radioactivité de l'environnement (URA) de l'Office fédéral de la santé publique (OFSP) est responsable de la surveillance de la radioactivité dans l'environnement. Comme de coutume, l'IRA et l'URA ont invité l'ensemble des laboratoires effectuant des mesures d'activité dans l'environnement et les produits de consommation à participer à l'intercomparaison annuelle de spectrométrie gamma.

L'organisation et l'analyse des données de l'intercomparaison suivent autant que possible les prescriptions des normes suivantes :

1. BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1995.

2. ILAC, ILAC Guidelines for the Requirements for the Competence of Providers of Proficiency Testing Schemes, ILAC G13, 2007.
3. ISO/IEC, Proficiency testing by interlaboratory comparisons. International Standard Organization, ISO Guide 43, 1997.
4. ISO/IEC, Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons. International Standard Organization, ISO 13528, 2005.

Comme en 2020, le thème de l'intercomparaison de 2021 est la mesure d'un échantillon d'eau contenant plusieurs radionucléides et totalisant un nombre de lignes à identifier assez important. Dix radionucléides ont été introduits dans l'échantillon de l'intercomparaison avec une activité certifiée par l'IRA : Mn-54, Co-60, Sr-85, Ba-133, Cs-134, Cs-137, Eu-152, et Lu-177, ainsi que les impuretés Lu-176 et Lu-177m associées au Lu-177. Certains d'entre eux sont présents dans l'environnement en cas d'accident dans une centrale nucléaire, certains sont utilisés dans le domaine médical et d'autres sont destinés plutôt à la métrologie. L'objectif était d'exercer la capacité à identifier un assez grand nombre de lignes dans le spectre, parfois avec des interférences entre 2 radionucléides. Le Lu-177 est un radionucléide utilisé en médecine nucléaire et peut, à ce titre, se retrouver dans notre environnement ou nos déchets.

Sur les 30 laboratoires suisses concernés par ce type de mesure, 21 ont participé et ont fourni des résultats. Un laboratoire a dû renoncer à cause d'une panne de détecteur. Un autre a fourni 2 séries de résultats correspondant à deux installations de mesure. La liste des participants est présentée dans l'annexe. Le Tableau 1 résume les équipements utilisés par ces participants.

Tableau 1. Détecteurs et méthodes d'étalonnage utilisés par les laboratoires

Participants	Détecteur	Mise en fonction	Eff. [%]	Logiciel	Étalonnage, type	Date
Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit GR	HPGe type p, Ortec GEM-25P4	2005	24	GammaVision V8.10.02/LVIS V3.1.9.0	Nuclide-Mix CMI CBSS2	2020
CERN DGS-SEE	Canberra GE GC 5019	2001	50	Genie 2000 3.4 APEX 1.4	LabSOCS	-
Dienststelle Lebensmittelkontrolle und Verbraucherschutz	Ortec type n GMX 30P4	2006	32.8	InterWinner ver. 7.0	CMI CBSS2	2019
EAWAG	Canberra GSW425	2015	42	Genie 2000 3.4.1	ISOCS/ LabSOCS	2020
ENSI Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat	Canberra GC5019 p-type	2017	50	Interwinner 8.00	LabSOCS	2017
hepia haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture	Eurisys type p EGPC 155 P15	1997	32	Interwinner 8.0	IRA et DAMRI	2000
Institut de radiophysique	HPGe p Ortec GEM 23185	1986	23	Genie 2000	IRA	2010
	HPGe p Canberra GCW4523	2001	45	APEX Gamma		2020
	HPGe n Ortec GMX 35P4-76	2012	39	InterWinner 7.0		2012
Kanton Aargau DGS	HPGe type p PGT IGC27	1989	27.7	Winner ver. 6.0	DA6 Std 2019	2019
Kantonales Laboratorium BE	HPGe type p Canberra GC 2018	2014	23.1	Genie 2000	LabSOCS/Isocs	2021

Participants	Détecteur	Mise en fonction	Eff. [%]	Logiciel	Étalonnage, type	Date
Kantonaies Laboratorium BS	Ortec type p GEM 50P4-83	2011	50	Interwinner 8.0	CMI 9031-OL-806/13	2021
Kantonaies Labor Zürich	HPGe type p PGT Ge-IGC 25	1989	25.3	Interwinner 7.1	Mix 565	1999
KKB - Axpo Power AG	Canberra type p GC 3518	2009	35	Interwinner 8.0	Eckert&Ziegler AJ-4311	2017
KKW Gösgen-Däniken AG	Ortec type p GEM 25 43-P 11897 B	-	28	InterWinner 8.0	Ref. Mischstandard QCYB41	2016
KKL – Chemie Labor Kalt	Canberra GC4518, type p ITECH GDC45195, type p	2013 2020	45 45	Interwinner 8.0	Eckert-Ziegler QCRB17727	2021
KKL – Chemie Labor Heiss	Ortec GEM20P, type p Canberra GC2018, type p	2009 2000	20 20	Interwinner 8.0	Eckert-Ziegler QCRB17727	2021
KKM - BKW Energie AG	Canberra BeGe 6530	2019	60	Genie 2000 APEX 1.41	LabSOCS	2020
Laboratorio cantonale Ti	HPGe type p, Ortec GEM30	2003	30	Interwinner ver. 5.0	CMI CBSS2	2019
Labor Spiez	HPGe type n Canberra GR 2519	2011	29	Genie 2000 APEX	LabSOCS	2012
OFSP	Ortec type n GMX 30-83-A type n	2007	30	Winner 7.0	CMI CBSS2	2018
Paul Scherrer Institut	Ortec type p GEM 30P4-70 Canberra GL 1010R	2009 2000	30 n.a.	InterWinner 8.1	Eckert-Ziegler 1827-72-1 et 111944	2021
SUVA	HPGe type p Ortec GEM 20-70	2012	23	InterWinner 8.0	CMI CBSS2	2012

2. Préparation des échantillons et valeurs de référence

Préparation de la solution de l'intercomparaison

L'échantillon choisi cette année est une solution radioactive artificielle contenant les dix radionucléides suivants : Mn-54, Co-60, Sr-85, Ba-133, Cs-134, Cs-137, Eu-152, Lu-177, Lu-176 et Lu-177m. Ces 2 derniers sont des impuretés associées au Lu-177.

Le Lu-177 (6.647 j.) décroît à 100% par émission β^- vers Hf-177 stable.

Le Lu-177m (160.4 j.) décroît à 21.7% vers Lu-177 et à 78.3% vers Hf-177 stable.

Un batch de 14 litres de solution HCl 0.1 M a été préparé avec des entraîneurs de chaque espèce chimique.

Les radionucléides individuels ont été ajoutés gravimétriquement dans cette solution. Ils provenaient soit de solutions certifiées par le laboratoire primaire de l'IRA (IRA-METAS), soit de solutions mesurées sur le HPGe de référence du groupe de radiométrie (Tableau 2). Les activités sont donc rattachées aux étalons nationaux et internationaux.

Tableau 2. Radionucléides dans la solution d'échantillon

Radionucléide	Solution utilisée	Solution originale	Rattachement
Mn-54	D1-Mn-54	M54Mn7A3	METAS + dilution
Co-60	M60CoFSPE101	-	METAS + dilution
Sr-85	GRM210712	-	Mesure HPGe 1
Ba-133	133Ba8FP01	-	Mesure HPGe 1
Cs-134	GRM190722-Cs-134	M134Cs3A2	METAS + dilution
Cs-137	GRM190722-Cs137	M137Cs25A2	METAS + dilution
Eu-152	M152Eu12A1	M152Eu11	METAS + dilution
Lu-176	GRM210714	-	Mesure HPGe 1
Lu-177	GRM210714	-	Mesure HPGe 1
Lu-177m	GRM210714	-	Mesure HPGe 1

La solution de 14 litres a été longuement agitée, puis répartie dans les flacons de 500 ml pour l'envoi aux participants. Trois flacons de mesure ont aussi été préparés au cours de cette opération, en vue d'un contrôle qualité de l'activité. Un flacon au début du transfert, un au milieu et un à la fin. Ils ont été mesurés sur le HPGe de référence du groupe de radiométrie. Ils ont confirmé les valeurs de concentration radioactive calculées à partir des facteurs de dilution gravimétrique.

Activité de référence des échantillons de l'intercomparaison

La concentration radioactive de référence des 10 radionucléides ajoutés dans les échantillons de l'intercomparaison est donnée dans le Tableau 3. La date de référence de l'intercomparaison a été fixée au 1.8.2021 12h00.

Tous les participants ont reçu la même solution d'échantillon.

Tableau 3. Activités de référence des échantillons. Date de référence : 1.8.2021 12h00. Incertitude élargie à $k=2$.

Radionucléides	Mn-54	Co-60	Sr-85	Ba-133	Cs-134	Cs-137	Eu-152	Lu-176	Lu-177	Lu-177m
Concentration radioactive (Bq/kg)	19.42	23.84	1.69	29.86	12.00	13.88	17.32	2.26	222.3	24.47
Incertitude élargie à $k=2$ (Bq/kg)	0.19	0.12	0.17	2.4	0.24	0.25	0.17	0.23	18	6.0

Les concentrations radioactives sont plutôt faibles et l'échantillon ne constitue donc pas une solution adéquate pour l'étalonnage d'un spectromètre.

Contrôle des prescriptions de l'ADR pour l'envoi

Les flacons envoyés aux participants avaient une activité totale inférieure à la limite de libération LL de l'ordonnance sur la radioprotection ORaP. Ils avaient aussi un indice de transport selon l'ADR 2016 bien inférieur à 1 (limite pour un transport exempté). Ceci a permis de les transmettre par les services de la poste.

Corrections d'autoatténuation

Comme l'échantillon est composé d'eau, l'autoatténuation des rayons gamma est identique à celle dans l'eau lors de l'étalonnage du détecteur. Il n'y a pas de correction à appliquer.

Corrections de sommations dues aux coïncidences vraies

Ce type de sommations est dû aux événements où deux photons d'énergie E_1 et E_2 émis simultanément par le radionucléide sont détectés ensemble dans le détecteur, ce que l'on dénomme *coïncidences vraies*. Il s'ensuit une perte du nombre de coups dans les pics correspondants à E_1 et E_2 , et on observe des coups supplémentaires à l'énergie $E=E_1+E_2$.

Ici, il n'y a pas ou peu d'effets de sommations $\gamma\text{-}\gamma$ et $\gamma\text{-}X$ pour Mn-54, Sr-85 et Cs-137.

Pour Co-60, Ba-133, Cs-134, Eu-152, Lu-176, Lu-177 et Lu-177m, il y a des lignes gamma (et/ou des rayons X) émises en coïncidence.

Quand l'échantillon est dans une position proche du détecteur, le risque de détection simultanée des gammas devient notable. Sans correction, l'erreur peut dépasser 10%, selon la géométrie de mesure. Pour éviter ce phénomène, il faut placer la source à une distance suffisamment grande du détecteur (>15 cm) et disposer de la courbe d'efficacité correspondante. Mais ceci était difficile avec cet échantillon peu radioactif.

Certains logiciels de spectrométrie gamma permettent de faire cette correction directement, et d'autres logiciels dédiés permettent de calculer les facteurs de correction (EFFTRAN, ETNA, Genie 2K Labsocs, Gespecor, InterWinner, ...).

Ces corrections devraient être effectuées lors de l'étalonnage du détecteur, c'est-à-dire pour établir la courbe d'efficacité de la géométrie de mesure avec des solutions radioactives certifiées (typiquement pour Co-60, Y-88, etc.). Puis, elles devraient être effectuées lors de l'analyse des échantillons pour les radionucléides qui le nécessitent.

La base de données *Nucléide-Lara* sur le site du LNHB¹ indique quelles sont les lignes γ qui peuvent avoir des sommations.

Si on se satisfait d'une précision moins bonne sur la mesure, on peut renoncer à corriger les résultats, mais dans ce cas il est recommandé de tenir compte de cette approximation dans le budget d'incertitudes.

¹ <http://www.lnhb.fr/donnees-nucleaires/module-lara/>

3. Résultats et discussion

Comme indiqué plus haut, l'objectif était d'analyser un échantillon produisant un spectre avec un bon nombre de pics, d'identifier les 10 radionucléides présents et de quantifier leur activité. Le spectre typique est illustré à la Figure 1.

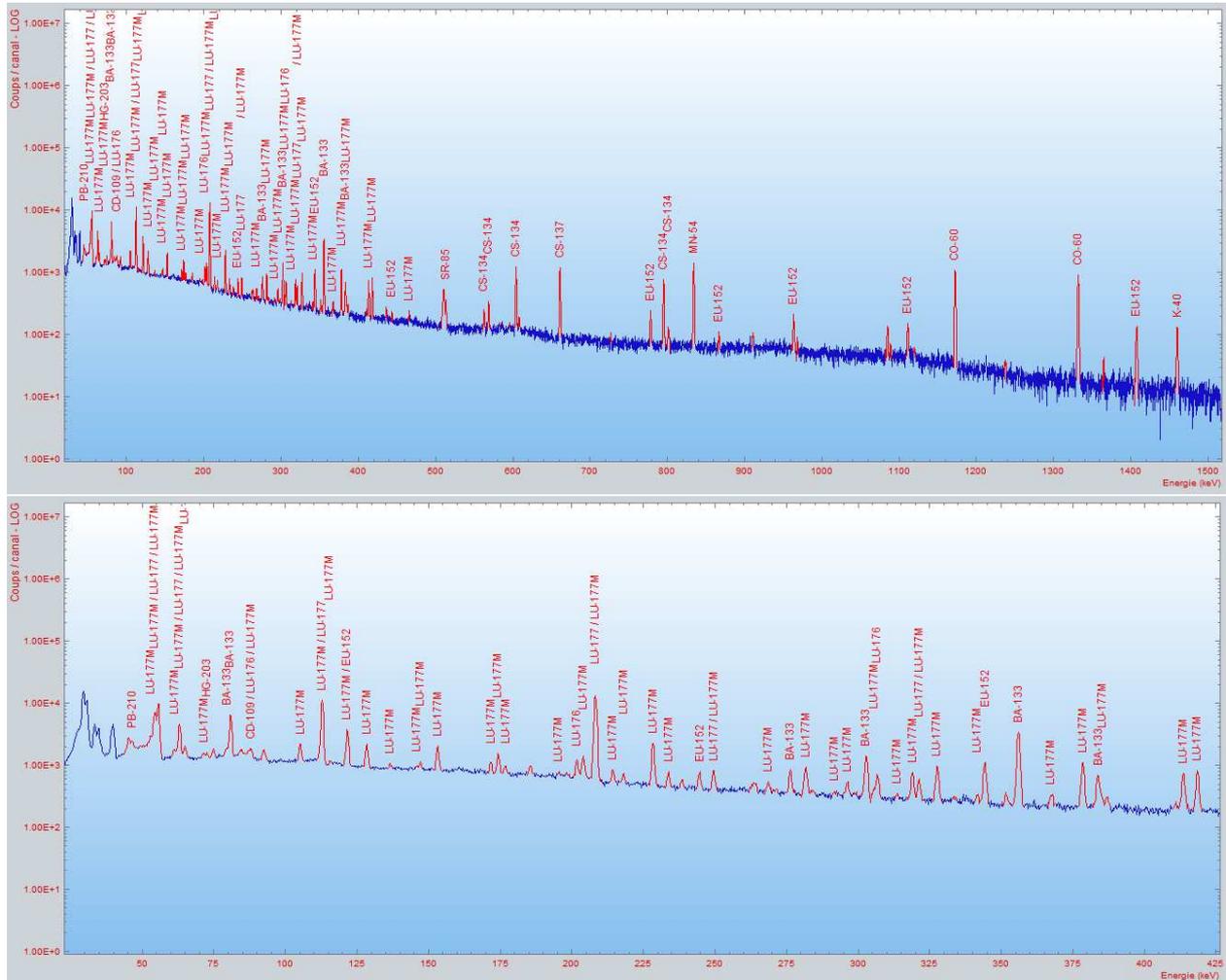


Figure 1. Allure du spectre de l'échantillon de l'intercomparaison (20-1500 keV et 20-425 keV)

3.1. Résultats communiqués par les participants

Les laboratoires ont reçu un formulaire de protocole de résultats sur lequel ils ont fournis aussi des indications concernant leur détecteur et leur méthode de mesure (les informations du Tableau 1).

Le Tableau 4 présente l'ensemble des concentrations radioactives en Bq/kg et des incertitudes élargies relatives U (à $k=2$) communiquées par les laboratoires. Le numéro d'échantillon identifie le participant. Le no 20 n'a pas pu communiquer de résultats en raison d'une panne de détecteur.

Tableau 4. Résultats communiqués par les participants pour Mn-54, Co-60, Sr-85 et Ba-133

Echant. No	Mn-54		Co-60		Sr-85		Ba-133	
	Activité (Bq/kg)	U (k=2) (%)						
1	20.7	10%	24.3	10%	-	-	32.9	10%
2	19	12%	23	10%	2.0	15%	30	16%
3	20.4	8.3%	22.4	7.5%	1.56	54.2%	35.9	7.1%
4	19.7	10%	24.3	10%	-	-	32.4	10%
5	19.41	7.9%	23.82	7.7%	1.723	19%	31.11	8.7%
6	18.9	4%	23.2	9%	2.1	9%	29.9	8%
7	19.70	10.36%	22.92	10.20%	1.75	15.42%	32.20	10.15%
8	18.9	12.6%	23.6	6.2%	2.15	19.8%	30.9	9.8%
9	19.5	15%	23.2	15%	1.6	20%	28	20%
10	17.6	10.0%	21.9	10%	1.4	20%	27.3	10%
11	18.57	3.9%	23	3.5%	-	-	30.04	4.3%
12	19.2	10.2%	23.1	8.0%	1.7	15.0%	29.5	11.0%
13	18.6	5.32%	21.8	3.11%	2.26	7.37%	28.0	4.05%
14	19.2	10%	23.4	10%	1.6	20%	30.0	10%
15	21.0	10.4%	24.7	10.2%	1.92	19.6%	31.1	5.4%
16	19.3	3.9%	24.0	3.9%	1.5	9.5%	31.7	6.0%
17	18.9	10%	22.8	10%	1.8	20%	32.9	10%
18	20.2	3.2%	23.9	3.1%	1.60	7.2%	29.9	3.6%
19	18	5.3%	22	3.0%	-	-	33	3.6%
21	18.9	5.0%	23.3	5.0%	1.76	10.8%	29.6	5.0%
23	18.79	7.6%	23.25	7.5%	1.665	17%	29.19	7.9%
24	19.7	3.7%	23.0	3.5%	1.83	13.8%	29.5	3.5%
Moyenne	19.3		23.3		1.77		30.7	
Éc.-t. relatif	4%		3%		13%		7%	
Maximum	20.7		24.7		2.26		35.9	
Minimum	17.6		21.8		1.40		27.3	

Tableau 5. Résultats communiqués par les participants pour Cs-134, Cs-137, Eu-152 et Lu-176

Echant. No	Cs-134		Cs-137		Eu-152		Lu-176	
	Activité (Bq/kg)	U (k=2) (%)						
1	13.5	10%	15.2	10%	18.9	10%	-	-
2	12	12%	14	12%	16	14%	2.1	18%
3	13.9	7.3%	15.8	9.1%	17.8	9.0%	1.87	19.2%
4	11.9	15%	14.4	10%	16.7	15%	-	-
5	12.04	10%	14.51	8.3%	17.66	17.2%	-	-
6	11.5	7%	13.4	4%	17.2	12%	-	-
7	12.14	10.37%	14.32	10.55%	17.83	10.88%	2.28	12.33%
8	11.7	9.2%	14.1	12.8%	17.4	10.0%	1.96	14.0%
9	11.3	15%	14	15%	16.4	20%	-	-
10	10.9	10%	12.7	10%	16	10%	-	-
11	11.13	2.9%	13.33	4.3%	15.57	2.7%	-	-
12	11.3	11.0%	14.0	10.4%	16.2	11.0%	1.7	12.0%
13	11.2	3.47%	13.4	6.26%	15.3	2.77%	1.72	7.04%
14	11.4	10%	13.7	10%	16.8	10%	1.8	20%
15	11.2	6.4%	14.7	10.6%	16.6	5.0%	1.86	11.6%
16	12.8	6.5%	14.4	3.8%	18.1	3.5%	2.2	7.9%
17	12.0	10%	14.1	10%	16.3	10%	-	-
18	10.9	3.3%	14.4	3.4%	16.7	3.7%	1.86	4.4%
19	11	3.7%	13	6.3%	16	3.5%	-	-
21	11.80	5.0%	14.0	5.0%	16.6	5.0%	1.88	7.7%
23	11.70	8.5%	13.91	8.2%	17.24	16%	-	-
24	11.3	3.7%	14.1	4.0%	16.8	4.0%	1.93	6.3%
Moyenne	11.8		14.1		16.8		1.93	
Éc.-t. relatif	7%		5%		5%		9%	
Maximum	13.9		15.8		18.9		2.28	
Minimum	10.9		12.7		15.3		1.70	

Tableau 6. Résultats communiqués par les participants pour Lu-177 et Lu-177m

Echant. No	Lu-177		Lu-177m		Correction de sommations
	Activité (Bq/kg)	U (k=2) (%)	Activité (Bq/kg)	U (k=2) (%)	
1	186	30%	-	-	oui Gespecor 4.2
2	-	-	21	19%	oui. Nucleonica pour Lu-177m
3	217	18.2%	-	-	non
4	257	20%	21.2	10%	non
5	-	-	-	-	non
6	-	-	-	-	non
7	236.80	10.59%	21.74	10.52%	GSpecor
8	212	20.8%	18.5	11.2%	oui APEX
9	-	-	-	-	non
10	-	-	-	-	oui Co60,Cs134,Eu152
11	208.5	6.2%	19.15	4.2%	oui TCC de Winner 8.0
12	165.0	40.0%	14.6	16.0%	oui InterWinner
13	-	-	18.4	2.58%	Oui avec ISOCS. Grande distance.
14	-	-	16.4	10%	non
15	-	-	15.5	3.2%	non
16	(5.1)	8.9%	22.6	8.9%	oui. Nucleonica
17	-	-	14.6	10%	oui Genie 2000
18	-	-	14.0	3.9%	non
19	-	-	-	-	non
21	185	6.0%	14.8	5.0%	oui
23	-	-	-	-	oui
24	-	-	16.3	3.6%	oui
Moyenne	208.4		17.8		
Éc.-t.relatif	30%		17%		
Maximum	257		22.6		
Minimum	165		14.0		

Quatre laboratoires ont utilisé plusieurs détecteurs et ont donné la moyenne des activités. Un laboratoire a donné des résultats séparés pour ses 2 détecteurs. Il figure 2 fois dans les tableaux.

Certains laboratoires ont indiqué encore d'autres radionucléides, généralement avec de grandes incertitudes (Cr-51, Co-57, Kr-85, Cd-109, I-125, I-129, Hf-175, Pb-210, Th-230, Th-234, Pa-234m et U-235). Aucun de ces radionucléides n'avait été introduit dans l'échantillon de l'intercomparaison.

3.2. Méthode d'analyse des résultats

Le rapport R de la valeur mesurée à la valeur de référence a été calculé pour chaque résultat :

$$R = \frac{\text{valeur mesurée}}{\text{valeur de référence}}$$

Les valeurs de ce rapport sont données dans le Tableau 7.

Afin de juger des résultats, on a utilisé l'outil statistique du score ζ (zêta). Celui-ci tient compte non seulement de l'écart par rapport à la valeur de référence dans le jugement de la performance, mais incorpore aussi l'évaluation de l'incertitude donnée par le participant. Ce score est défini par la relation :

$$\zeta = \frac{A_{mes} - A_{ref}}{\sqrt{u_{mes}^2 + u_{ref}^2}}$$

où A_{mes} est la concentration radioactive mesurée par le participant, A_{ref} est la concentration radioactive de référence, la valeur de u_{mes} est l'incertitude-type communiquée par le participant (c'est-à-dire l'incertitude U à $k=2$ du Tableau 7 divisée par 2) et u_{ref} est l'incertitude-type de la valeur de référence de l'intercomparaison (incertitude U du Tableau 3 divisée par 2).

La valeur du score ζ s'interprète de la manière suivante :

- Quand le score ζ est situé entre -2.0 et +2.0, cela indique une performance adéquate et aucun signal particulier n'est donné.
- Quand le score ζ est situé entre -3.0 et -2.0 ou entre 2.0 et 3.0, cela indique une performance discutable et un avertissement est signalé (WARNING).
- Quand le score ζ est au-dessus de 3.0 ou en dessous de -3.0, cela signale qu'il faut procéder à une amélioration ou action corrective (ACTION).

Le Tableau 7 présente les valeurs du rapport *mesuré/référence* et du score ζ calculées pour chaque résultat.

Tableau 7. Rapport mesuré/référence, incertitude absolue et score zêta. On indique aussi si le laboratoire a appliqué une correction pour les effets des sommations

Ech. No	Rapport R mesuré / référence			Incertitude élargie absolue U ($k=2$)			Score zêta ζ			Corr. somm.
	Mn-54 (-)	Co-60 (-)	Sr-85 (-)	Mn-54 (Bq/kg)	Co-60 (Bq/kg)	Sr-85 (Bq/kg)	Mn-54 (-)	Co-60 (-)	Sr-85 (-)	
1	1.07	1.02	-	2.07	2.43	-	1.2	0.4	-	oui
2	0.98	0.96	1.18	2.28	2.30	0.30	-0.4	-0.7	1.8	oui
3	1.05	0.94	0.92	1.69	1.68	0.85	1.2	-1.7	-0.3	non
4	1.01	1.02	-	1.97	2.43	-	0.3	0.4	-	non
5	1.00	1.00	1.02	1.53	1.84	0.33	0.0	0.0	0.2	non
6	0.97	0.97	1.24	0.76	2.09	0.19	-1.3	-0.6	3.2	non
7	1.01	0.96	1.03	2.04	2.34	0.27	0.3	-0.8	0.4	oui
8	0.97	0.99	1.27	2.38	1.46	0.43	-0.4	-0.3	2.0	oui
9	1.00	0.97	0.94	2.93	3.48	0.32	0.1	-0.4	-0.5	non
10	0.91	0.92	0.83	1.76	2.19	0.28	-2.1	-1.8	-1.8	oui
11	0.96	0.96	-	0.72	0.81	-	-2.3	-2.1	-	oui
12	0.99	0.97	1.00	1.96	1.85	0.26	-0.2	-0.8	0.0	oui
13	0.96	0.91	1.33	0.99	0.68	0.17	-1.6	-5.9	4.8	oui
14	0.99	0.98	0.94	1.92	2.34	0.32	-0.2	-0.4	-0.5	non
15	1.08	1.04	1.13	2.18	2.52	0.38	1.4	0.7	1.1	non
16	0.99	1.01	0.89	0.75	0.94	0.14	-0.3	0.3	-1.7	oui
17	0.97	0.96	1.06	1.89	2.28	0.36	-0.5	-0.9	0.5	oui
18	1.04	1.00	0.94	0.65	0.74	0.12	2.3	0.2	-0.9	non
19	0.93	0.92	-	0.95	0.66	-	-2.9	-5.5	-	non
21	0.97	0.98	1.04	0.95	1.17	0.19	-1.1	-0.9	0.5	oui
23	0.97	0.98	0.98	1.43	1.75	0.29	-0.9	-0.7	-0.2	oui
24	1.01	0.96	1.08	0.73	0.81	0.25	0.7	-2.1	0.9	oui
Moy.	0.993	0.974	1.047							
Ec-t.	0.04	0.03	0.14							
Min	1.08	1.04	1.33							
Max	0.91	0.91	0.83							

Tableau 8. Rapport mesuré/référence, incertitude absolue et score zêta. On indique aussi si le laboratoire a appliqué une correction pour les effets des sommations

Ech. No	Rapport R mesuré / référence			Incertitude élargie absolue $U (k=2)$			Score zêta ζ			Corr. somm.
	Ba-133 (-)	Cs-134 (-)	Cs-137 (-)	Ba-133 (Bq/kg)	Cs-134 (Bq/kg)	Cs-137 (Bq/kg)	Ba-133 (-)	Cs-134 (-)	Cs-137 (-)	
1	1.10	1.13	1.09	3.29	1.35	1.52	1.5	2.2	1.7	oui
2	1.00	1.00	1.01	4.80	1.44	1.68	0.1	0.0	0.1	oui
3	1.20	1.16	1.14	2.55	1.01	1.44	3.5	3.7	2.6	non
4	1.09	0.99	1.04	3.24	1.79	1.44	1.3	-0.1	0.7	non
5	1.04	1.00	1.05	2.70	1.21	1.21	0.7	0.1	1.0	non
6	1.00	0.96	0.97	2.39	0.81	0.54	0.0	-1.2	-1.6	non
7	1.08	1.01	1.03	3.27	1.26	1.51	1.2	0.2	0.6	oui
8	1.03	0.98	1.02	3.03	1.08	1.80	0.5	-0.5	0.2	oui
9	0.94	0.94	1.01	5.60	1.70	2.10	-0.6	-0.8	0.1	non
10	0.91	0.91	0.91	2.73	1.09	1.27	-1.4	-2.0	-1.8	oui
11	1.01	0.93	0.96	1.29	0.32	0.57	0.1	-4.3	-1.8	oui
12	0.99	0.94	1.01	3.25	1.24	1.46	-0.2	-1.1	0.2	oui
13	0.94	0.93	0.97	1.13	0.39	0.84	-1.4	-3.5	-1.1	oui
14	1.00	0.95	0.99	3.00	1.14	1.37	0.1	-1.0	-0.3	non
15	1.04	0.93	1.06	1.68	0.72	1.56	0.8	-2.1	1.0	non
16	1.06	1.07	1.04	1.90	0.83	0.55	1.2	1.9	1.7	oui
17	1.10	1.00	1.02	3.29	1.20	1.41	1.5	0.0	0.3	oui
18	1.00	0.91	1.04	1.08	0.36	0.49	0.0	-5.1	1.9	non
19	1.11	0.92	0.94	1.19	0.41	0.82	2.3	-4.2	-2.1	non
21	0.99	0.98	1.01	1.48	0.59	0.70	-0.2	-0.6	0.3	oui
23	0.98	0.98	1.00	2.31	0.99	1.14	-0.4	-0.6	0.0	oui
24	0.99	0.94	1.02	1.03	0.42	0.56	-0.3	-2.9	0.7	oui
Moy.	1.028	0.980	1.013							
Ec-t.	0.07	0.07	0.05							
Min	1.20	1.16	1.14							
Min	0.91	0.91	0.91							

Tableau 9. Rapport mesuré/référence, incertitude absolue et score zêta. On indique aussi si le laboratoire a appliqué une correction pour les effets des sommations

Ech. No	Rapport <i>R</i> mesuré / référence			Incertitude élargie absolue <i>U</i> (<i>k</i> =2)			Score zêta ζ			Corr. somm.
	Eu-152 (-)	Lu-176 (-)	Lu-177 (-)	Eu-152 (Bq/kg)	Lu-176 (Bq/kg)	Lu-177 (Bq/kg)	Eu-152 (-)	Lu-176 (-)	Lu-177 (-)	
1	1.09	-	0.84	1.89	-	55.80	1.7	-	-1.2	oui
2	0.92	0.93	-	2.24	0.38	-	-1.2	-0.7	-	oui
3	1.03	0.83	0.98	1.60	0.36	39.49	0.6	-1.8	-0.2	non
4	0.96	-	1.16	2.51	-	51.40	-0.5	-	1.3	non
5	1.02	-	-	3.03	-	-	0.2	-	-	non
6	0.99	-	-	2.06	-	-	-0.1	-	-	non
7	1.03	1.01	1.07	1.94	0.28	25.08	0.5	0.1	0.9	oui
8	1.00	0.87	0.95	1.74	0.27	44.10	0.1	-1.7	-0.4	oui
9	0.95	-	-	3.28	-	-	-0.6	-	-	non
10	0.92	-	-	1.60	-	-	-1.6	-	-	oui
11	0.90	-	0.94	0.42	-	12.93	-7.7	-	-1.3	oui
12	0.94	0.75	0.74	1.78	0.20	66.00	-1.3	-3.7	-1.7	oui
13	0.88	0.76	-	0.42	0.12	-	-8.9	-4.2	-	oui
14	0.97	0.80	-	1.68	0.36	-	-0.6	-2.2	-	non
15	0.96	0.82	-	0.83	0.22	-	-1.7	-2.6	-	non
16	1.04	0.97	(0.02)	0.63	0.17	0.45	2.4	-0.4	-	oui
17	0.94	-	-	1.63	-	-	-1.3	-	-	oui
18	0.96	0.82	-	0.62	0.08	-	-1.9	-3.3	-	non
19	0.92	-	-	0.56	-	-	-4.5	-	-	non
21	0.96	0.83	0.83	0.83	0.14	11.10	-1.7	-2.8	-3.6	oui
23	1.00	-	-	2.68	-	-	-0.1	-	-	oui
24	0.97	0.85	-	0.67	0.12	-	-1.5	-2.6	-	oui
Moy.	0.971	0.854	0.937							
Ec-t.	0.05	0.08	0.13							
Min	1.09	1.01	1.16							
Max	0.88	0.75	0.74							

Tableau 10. Rapport mesuré/référence, incertitude absolue et score zêta. On indique aussi si le laboratoire a appliqué une correction pour les effets des sommations

Ech. No	Rapport R mesuré / référence	Incertitude élargie absolue U (k=2)	Score zêta ζ	Corr. somm.
	Lu-177m (-)	Lu-177m (Bq/kg)	Lu-177m (-)	
1	-	-	-	oui
2	0.86	3.99	-1.0	oui
3	-	-	-	non
4	0.87	2.12	-1.0	non
5	-	-	-	non
6	-	-	-	non
7	0.89	2.29	-0.9	oui
8	0.76	2.07	-1.9	oui
9	-	-	-	non
10	-	-	-	oui
11	0.78	0.80	-1.8	oui
12	0.60	2.34	-3.1	oui
13	0.75	0.47	-2.0	oui
14	0.67	1.64	-2.6	non
15	0.63	0.50	-3.0	non
16	0.92	2.01	-0.6	oui
17	0.60	1.46	-3.2	oui
18	0.57	0.55	-3.5	non
19	-	-	-	non
21	0.60	0.74	-3.2	oui
23	-	-	-	oui
24	0.67	0.59	-2.7	oui
Moy.	0.726			
Ec-t.	0.12			
Max	0.92			
Min	0.57			

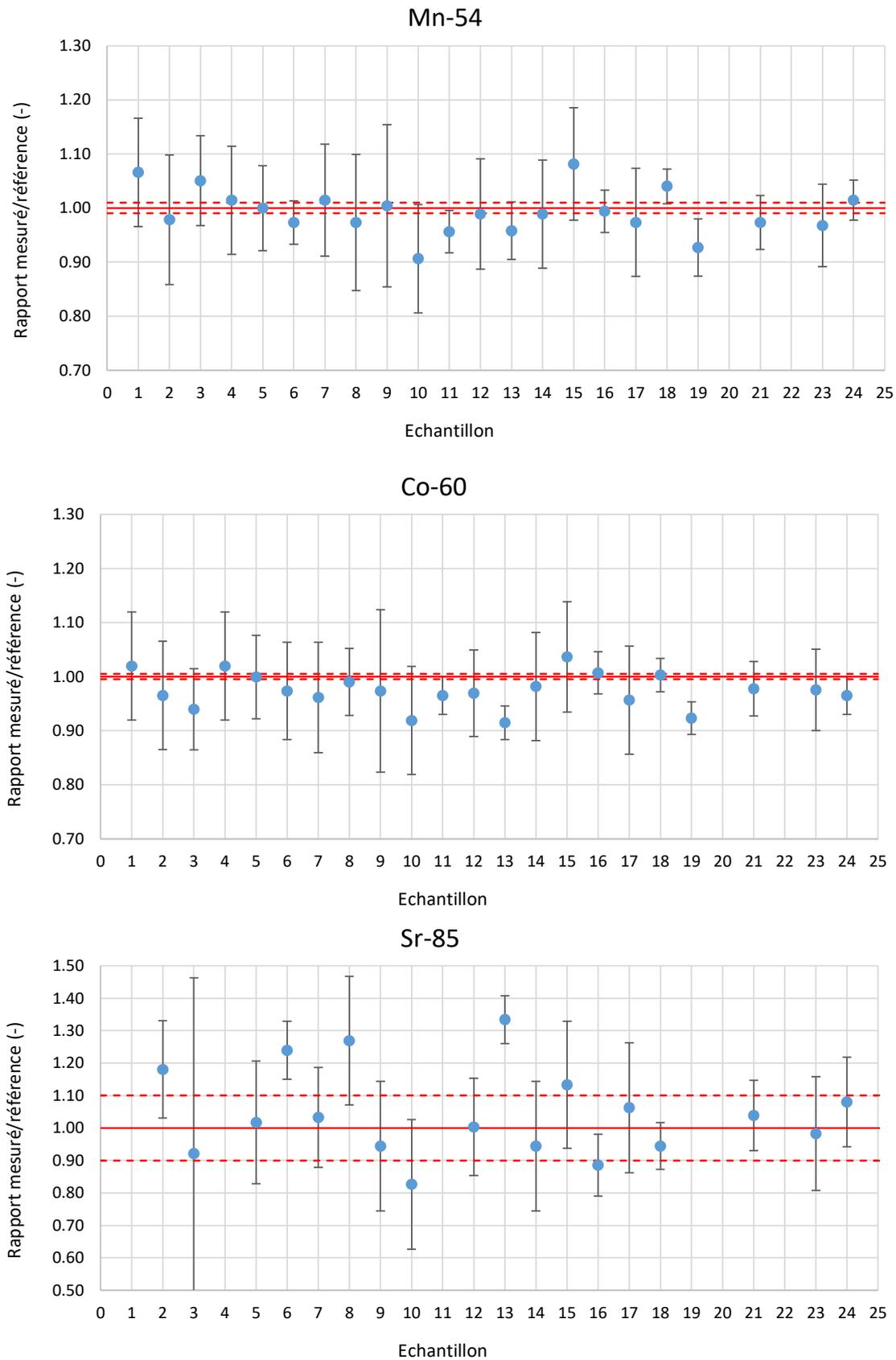


Figure 2. Rapport mesuré/référence selon les résultats communiqués par les participants et incertitudes élargies à $k=2$. Les lignes horizontales représentent les valeurs de référence et leurs incertitudes élargies à $k=2$.

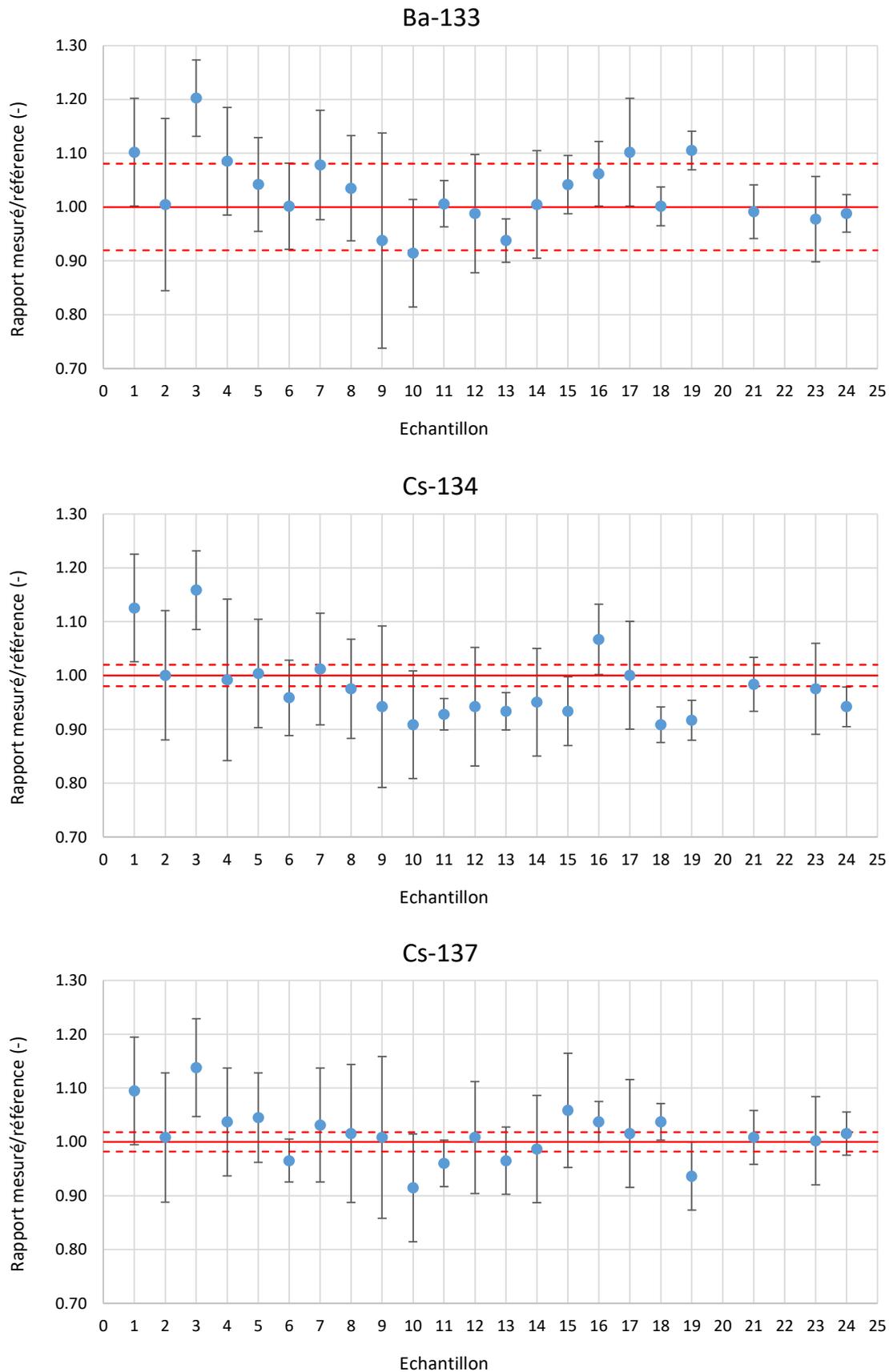


Figure 3. Rapport mesuré/référence selon les résultats communiqués par les participants et incertitudes élargies à $k=2$. Les lignes horizontales représentent les valeurs de référence et leurs incertitudes élargies à $k=2$.

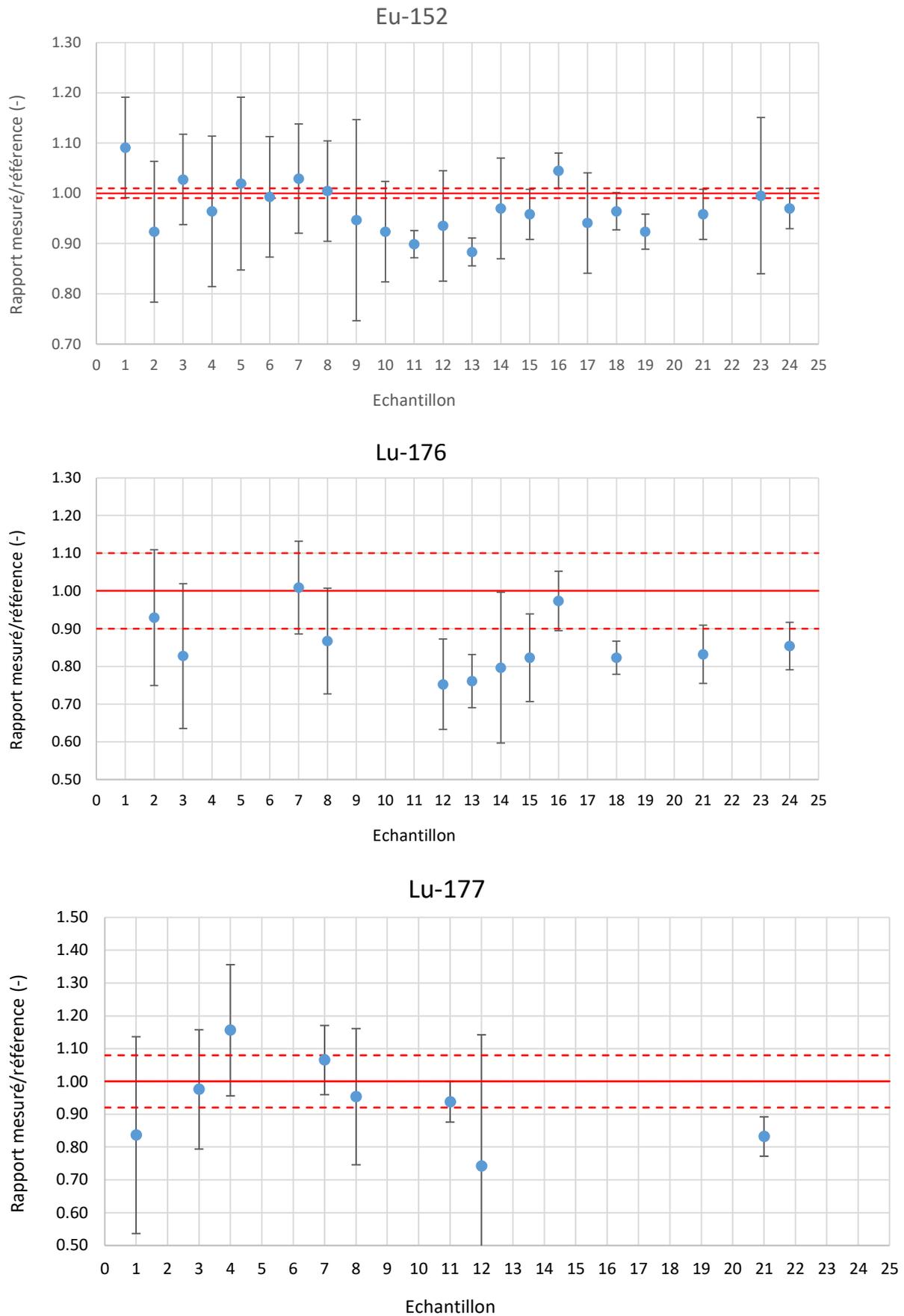


Figure 4. Rapport mesuré/référence selon les résultats communiqués par les participants et incertitudes élargies à $k=2$. Les lignes horizontales représentent les valeurs de référence et leurs incertitudes élargies à $k=2$.

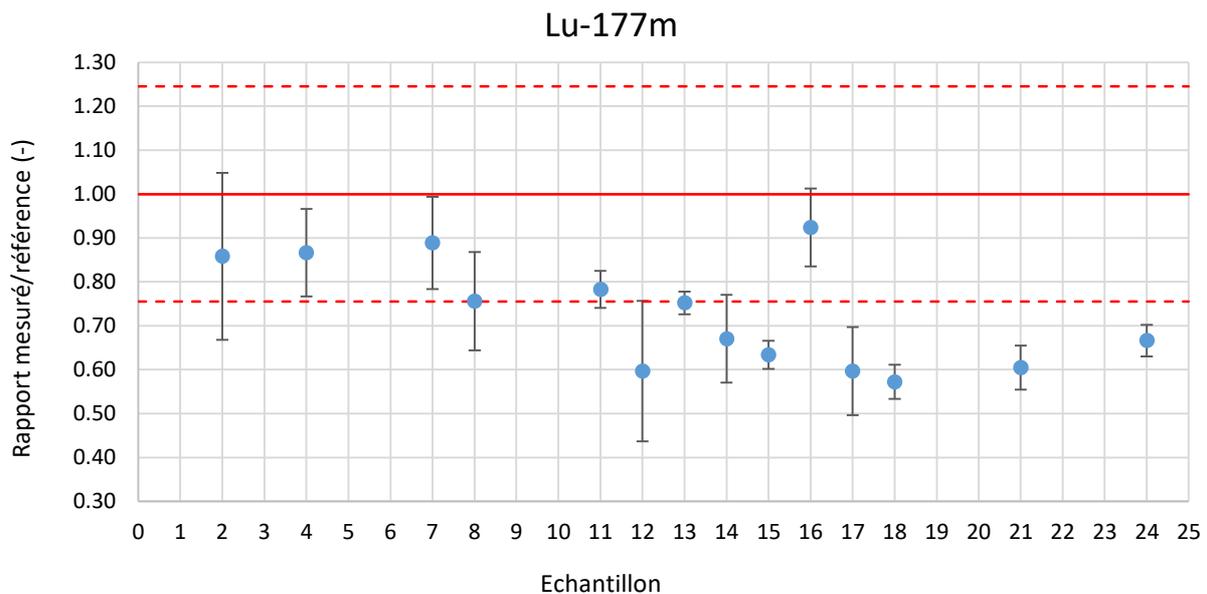


Figure 5. Rapport mesuré/référence selon les résultats communiqués par les participants et incertitudes élargies à $k=2$. Les lignes horizontales représentent les valeurs de référence et leurs incertitudes élargies à $k=2$.

3.3. Discussion des résultats

Mn-54

La détermination de l'activité du Mn-54 n'était pas difficile, il n'y a pas de sommations à corriger. Dix-huit participants ont obtenu un bon résultat. Quatre participants (10, 11, 18 et 19) reçoivent la mention WARNING.

La moyenne des participants s'écarte seulement de -0.7% de la référence.

Co-60

La mesure précise du Co-60 nécessite des corrections de sommations, mais sinon la détermination de l'activité du Co-60 était relativement simple. Dix-huit participants ont obtenu un bon résultat. Deux participants reçoivent la mention WARNING. Tous les deux ont sous-estimé l'activité, le 11 malgré la correction de sommation et le 24 peut-être à cause de l'absence de correction de sommation. Deux participants reçoivent la mention ACTION, le 13 et 19 qui sous-estiment l'activité, le 13 malgré la correction de sommation effectuée. Notons que tous les deux ont des incertitudes qui paraissent systématiquement faibles par rapport à celles des autres participants et bénéficieraient d'une nouvelle évaluation détaillée de leurs incertitudes.

La moyenne des participants s'écarte de -2.6% de la référence, probablement à cause de l'absence de correction de sommation par 9 participants sur 21.

Sr-85

La difficulté de mesure du Sr-85 résidait dans le fait que l'activité était basse et parce que sa ligne à 514 keV forme un multiplet avec la ligne de bruit de fond à 511 keV. Seize résultats sont corrects et deux ont une ACTION (6 et 13). Quatre laboratoires n'ont pas indiqué la présence de Sr-85.

La moyenne des participants s'écarte de +4.7% de la référence.

Ba-133

La mesure précise du Ba-133 nécessite des corrections de sommations. Vingt résultats sont corrects, 1 résultat reçoit un WARNING (3) et un reçoit une ACTION (19). Les no 3 et 19 sont surestimés alors qu'aucune correction de sommation n'a été appliquée.

La moyenne des participants s'écarte de +2.8% de la référence alors qu'on attend plutôt une sous-estimation à cause de l'absence de correction de sommation par 9 participants sur 21.

Cs-134

La mesure précise du Cs-134 nécessite des corrections de sommations. On relève 14 résultats corrects. Cinq sont nettement différents de la référence (3, 11, 13, 18 et 19) et trois légèrement différents (1, 15 et 24). Pour les laboratoires 18 et 19, c'est peut-être dû à l'absence de corrections de sommations.

La moyenne des participants est à -2.0% de la référence. Là aussi, on peut dire que ce biais est probablement lié au fait que la moitié des participants n'ont pas appliqué de corrections pour les effets des sommations, ce qui entraîne une sous-estimation de l'activité mesurée.

Cs-137

Pour le Cs-137, les performances sont bonnes. Seuls deux résultats (3 et 19) devraient être réexaminés. La moyenne des participants se trouve à 1.3% seulement de la référence.

Eu-152

La mesure précise de l'activité de l'Eu-152 nécessite des corrections de sommations, ce qui n'est effectué que par la moitié des participants. Ceci se reflète dans la moyenne des participants qui s'écarte de -2.9% de la référence.

Trois résultats avec ACTION demandent un réexamen de la méthode d'analyse (11, 13 et 19). Un WARNING demande une vérification (16). Pourtant, pour les laboratoires 11 et 13, les sommations ont apparemment été prises en compte. Les incertitudes sur ces 4 résultats paraissent assez faibles par rapports aux autres.

Lu-176

Le Lu-176 est une impureté du radiopharmaceutique Lu-177. Il est remarquable que 12 participants aient pu identifier sa présence dans l'échantillon malgré sa faible activité. Sa mesure était difficile car elle est affectée par les problèmes de sommations. Plusieurs participants n'ont pas effectué cette correction et ceci explique la sous-estimation générale observée. Cinq résultats sont corrects. Quatre ont un WARNING. Trois ont une ACTION.

La moyenne des participants est à -15% de la référence. Cela montre la plus grande difficulté de mesurer ce radionucléide.

Lu-177 et Lu-177m

Le Lu-177 (6.647 j.) est un radiopharmaceutique de médecine nucléaire. A la production déjà, il contient l'impureté Lu-177m (160.4 j.). Pour préparer la solution de l'intercomparaison, on a utilisé un flacon médical datant de 69 jours, donc avec une activité de Lu-177 déjà très fortement décru.

L'impureté Lu-177m, elle, n'avait pas beaucoup diminué depuis la production. Son importance par rapport à Lu-177 augmente au cours du temps. L'évolution des activités du Lu-177 et du Lu-177m dans la solution d'intercomparaison est présentée dans la Figure 1.

On constate que l'activité du Lu-177 diminue rapidement et, ensuite, elle tend vers la valeur asymptotique

$$A_{\text{Lu-177}} = 0.217 \cdot 1.043 \cdot A_{\text{Lu-177m}}$$

où 0.217 est le facteur d'embranchement de la désintégration du Lu-177m vers Lu-177 et 1.043 est un facteur lié aux périodes de la mère et de la fille ($T_m/(T_m-T_f)$). L'autre voie de désintégration de Lu-177m est vers Hf-177 stable (à 0.783).

Une particularité de l'analyse du Lu-177 est que toutes ses lignes γ sont communes avec celles de Lu-177m. Le logiciel de traitement du spectre évalue d'abord l'activité du Lu-177m sur la base des lignes non partagées avec Lu-177. Ainsi, pour les pics communs aux deux radionucléides, il peut déterminer la part des coups attribuable au Lu-177m et attribuer le reste au Lu-177.

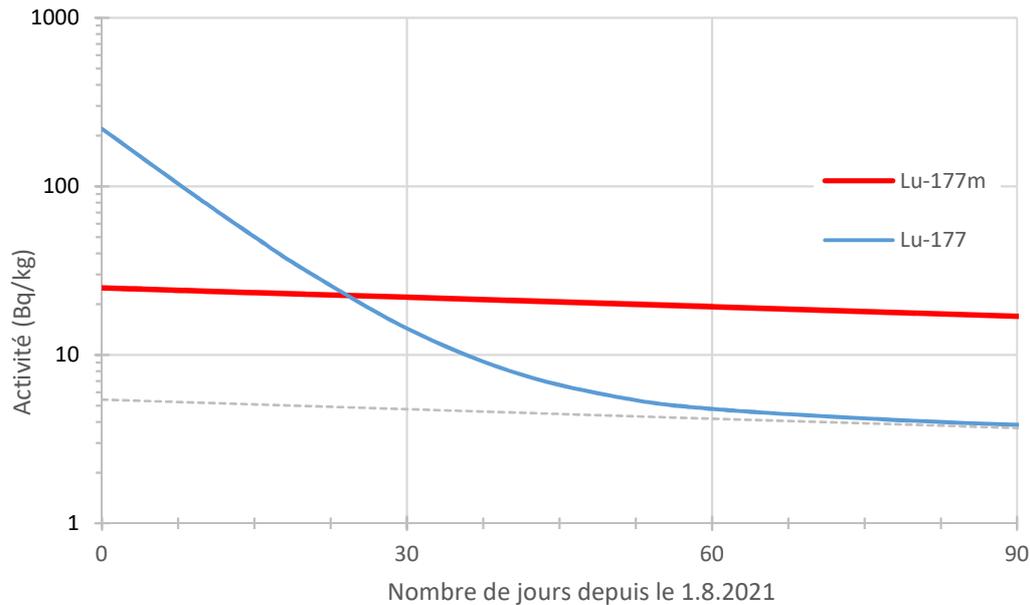


Figure 6. Evolution de l'activité du Lu-177 et du Lu-177m depuis le 1.8.2021.

Une autre difficulté de l'analyse est d'exprimer l'activité de Lu-177 à la date de référence du 1.8.2021. Si on ne prend pas en compte le fait qu'il y a un couple mère/fille Lu-177m/Lu-177, et qu'on considère que le Lu-177 est indépendant, alors son activité à la date de référence est calculée de façon erronée à partir de la mesure au temps t quelconque. On voit ceci surtout à partir de 20 jours au-delà de la date de référence.

Dans l'exemple de la Figure 7, on imagine que l'on a exécuté une mesure du Lu-177 le 15.9.21 (45 jours). Si on remonte au temps t=0 simplement avec la loi exponentielle du Lu-177, l'activité obtenue est 3 fois trop grande !

La solution à ce problème est d'introduire le Lu-177m et le Lu-177 comme un couple mère/fille dans la bibliothèque des radionucléides. Les logiciels actuels permettent ceci. Ainsi, le logiciel calculera convenablement l'activité à la date de référence à partir d'une mesure à un temps t quelconque.

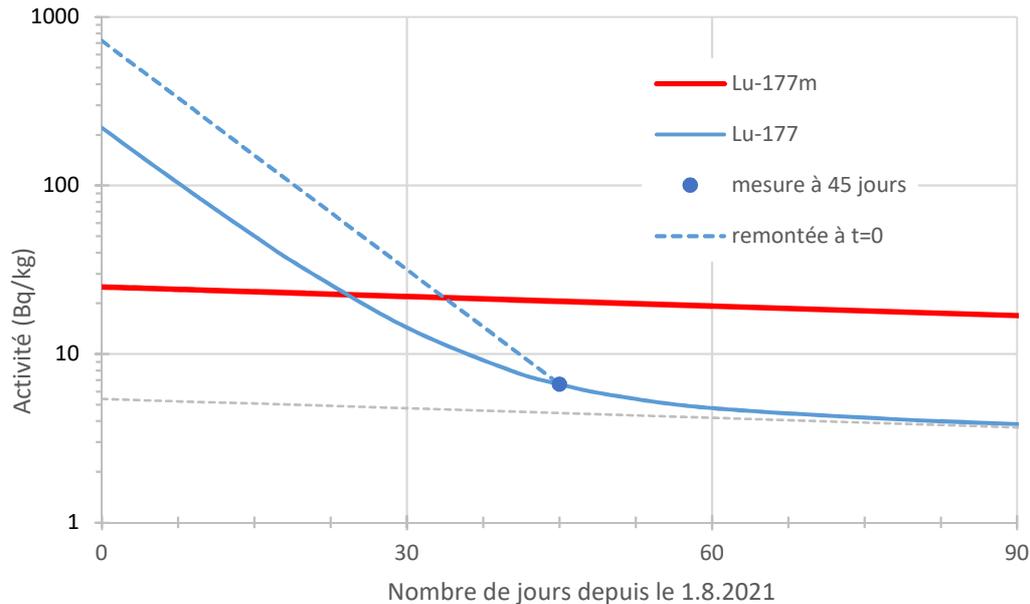


Figure 7. Exemple d'une mesure du Lu-177 le 15.9.21 (45 jours après la date de référence 1.8.21). L'activité recalculée à la date de référence ($t=0$) simplement par la loi exponentielle de Lu-177 est erronée. Elle est 3 fois plus élevée que celle de la vraie évolution du couple Lu-177m/Lu-177.

Dernière difficulté : la mesure précise du Lu-177 et du Lu-177m nécessite aussi des corrections de sommations. Et elles sont particulièrement élevées pour Lu-177m.

Voyons maintenant les résultats des participants !

Lu-177

Sept résultats sont corrects, 2 résultats reçoivent une mention ACTION et 13 laboratoires n'ont pas identifié ou n'ont pas quantifié ce radionucléide. Le laboratoire 16 a indiqué une activité nettement trop faible (facteur 44) pour une raison inconnue. Le laboratoire 21 n'a pas effectué de correction de sommation et a sous-estimé l'incertitude.

La moyenne des participants se trouve à -6% de la référence.

Lu-177m

Six résultats sont corrects, 4 résultats reçoivent un WARNING, 4 résultats ont une ACTION et 8 laboratoires n'ont pas identifié ou n'ont pas quantifié ce radionucléide. L'activité de référence n'est connue qu'avec une grande incertitude, liée aux effets de sommation qui sont importants.

Tous les radionucléides

Le résumé des performances en termes de score zêta, est donné dans le Tableau 11 pour chaque radionucléide. On constate que 64% des résultats rapportés par les participants sont irréprochables. Dans 10% des cas, la performance pourrait être améliorée. Dans 10% des cas, une action correctrice serait souhaitable, comme le contrôle de l'étalonnage en efficacité, des données de la bibliothèque de radionucléides, du calcul des incertitudes, de l'introduction de corrections de sommation, de la préparation de l'échantillon et du respect de la géométrie de mesure, etc.

Dans 16% des cas, le radionucléide n'a pas pu être identifié ou quantifié. Ceci concerne surtout le Lu-177 et ses deux impuretés Lu-176 et Lu-177m.

Pour les radionucléides classiques (Mn-54, Co-60, Ba-133, Cs-137, Cs-134 et Eu-152), les résultats sont globalement très bons.

Tableau 11. Nombres de cas observés dans chaque catégorie de score zêta (et des radionucléides non mesurés)

Performance	Mn-54	Co-60	Sr-85	Ba-133	Cs-134	Cs-137	Eu-152	Lu-176	Lu-177	Lu-177m	Relatif
OK	18	18	16	20	14	20	18	5	7	6	64%
WARNING	4	2	0	1	3	2	1	4	0	4	10%
ACTION	0	2	2	1	5	0	3	3	1	4	10%
Pas mesuré	0	0	4	0	0	0	0	10	14	8	16%

Performance globale de chaque participant

Dans le but d’offrir aux participants la possibilité de détecter les problèmes dans leur méthode (et non pas pour stigmatiser certains d’entre eux !), nous avons cherché un indicateur de la performance globale de chaque laboratoire lors de cet exercice.

Pour ceci, nous avons calculé la somme des valeurs absolues des scores zêta obtenus pour les radionucléides mesurés. Le *score zêta moyen* est ensuite calculé en divisant la somme par le nombre de radionucléides mesurés (entre 6 et 10 selon le laboratoire).

La performance globale de chaque laboratoire est illustrée dans la Figure 8.

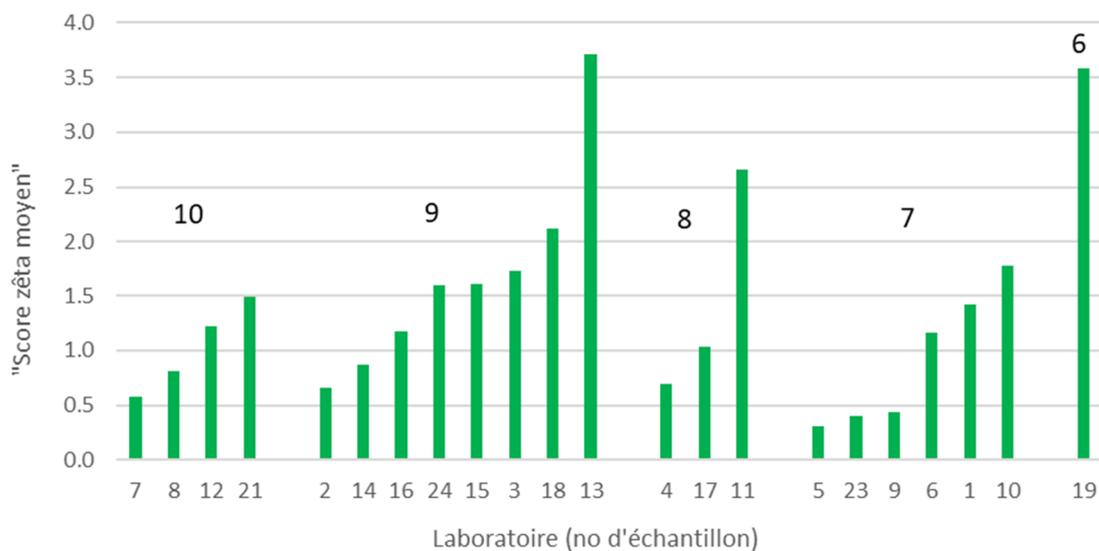


Figure 8. Nombre de radionucléides mesurés par les participants et score zêta moyen obtenu

Toujours avec les mêmes critères de ± 2 et ± 3 pour zêta, on observe que 18 participants ont un score moyen inférieur à 2 (en ordre), deux participants sont entre 2 et 3 (Warning), et deux participants sont au-dessus de 3 (Action).

Autrement dit, les performances moyennes, ou globales, de 18 participants sur 21 sont bonnes. Dans les 4 autres cas, une analyse devrait être faite pour améliorer ou corriger la méthode de travail.

Pour le no 13, on voit clairement sur les graphiques que le problème se trouve dans l’estimation des incertitudes. Elles sont sous-estimées et ceci pénalise la performance (en particulier pour Eu-152 et Lu-177m).

Pour le no 19, le laboratoire n’a pas effectué de corrections de sommations. Ceci n’est pas critiquable, il n’a peut-être pas les moyens d’effectuer ces calculs. Nous lui suggérons par contre

de fixer des incertitudes suffisamment grandes pour tenir compte de ces effets. Le fait que le laboratoire a mesuré la solution directement dans le flacon original a peut-être joué un rôle ; est-ce que cette géométrie était étalonnée ou est-ce pris en compte dans les incertitudes ?

Pour le laboratoire no 11, les incertitudes semblent un peu faibles par rapport aux autres participants. Bien qu'il ait fait les corrections de sommations, la plupart des résultats sont plutôt sous-estimés. C'est surtout celui de Eu-152 qui abaisse la performance globale.

Pour le no 18 aussi, les incertitudes paraissent faibles pour certains radionucléides. Sans corrections de sommations, les incertitudes devraient être augmentées. L'idée étant qu'on peut renoncer à appliquer telle ou telle correction à un résultat de mesure mais qu'il faut en tenir compte dans le budget d'incertitudes.

4. Conclusions

Vingt et un laboratoires ont pris part à l'intercomparaison 2021 et ont fourni des résultats. Les participants ont analysé soigneusement le spectre à la recherche des dix radionucléides présents et, dans la majorité des cas, ont fourni une valeur d'activité correcte.

Il est très positif que tous les participants ont réussi à analyser les radionucléides « traditionnels » Mn-54, Co-60, Ba-133, Cs-137, Cs-134 et Eu-152 des intercomparaisons IRA-URA. Le Sr-85, lui, a été mesuré un peu plus difficilement (18 laboratoires).

Il faut dire que cette fois le spectre était particulièrement difficile à traiter. Le lutécium-177, un radiopharmaceutique probablement inconnu pour la plupart d'entre nous, avait été ajouté dans l'échantillon, avec ses deux impuretés. Ceci donnait lieu à un très grand nombre de lignes dans le spectre.

Le Lu-177, avec le Lu-176 et le Lu-177m, ont été bien analysés par la plupart des participants. Quatre laboratoires les ont tous identifiés et quantifiés. Les autres laboratoires ont pu reconnaître et quantifier un ou deux d'entre eux et ont donc reconnu l'origine de ce lutécium dans l'échantillon comme un radiopharmaceutique. Le fait que plus de la moitié des participants a identifié le Lu-176 parmi une « forêt » de pics est remarquable.

En outre, six laboratoires ont pu donner des activités relativement conformes à l'évolution du couple mère/fille Lu-177m/Lu-177 entre le moment de la mesure et la date de référence. Cela signifie probablement qu'ils ont su utiliser la possibilité des logiciels de décrire ce phénomène dans la bibliothèque des radionucléides.

Globalement, dans 64% des cas, le résultat rapporté est conforme aux performances qu'on attend de la spectrométrie γ avec détecteur HPGe et aux procédures d'analyses standard selon les critères du score zêta adoptés.

Dans 10% des cas, la valeur indiquée est discutable et mérite un réexamen parce que l'écart à la référence dépasse les simples fluctuations statistiques compte tenu des incertitudes indiquées.

Dans 10% des cas, le résultat est critiquable et une action correctrice est nécessaire. Il semble que les incertitudes sont trop faibles dans plusieurs cas. Les logiciels de spectrométrie γ calculent la moyenne de l'activité d'un radionucléide sur toutes les lignes observées. Dans certains cas, ils déterminent l'incertitude sur cette moyenne comme si ces lignes étaient statistiquement indépendantes. Lorsqu'un radionucléide possède un grand nombre de lignes (Eu-152, Lu-177m), cette hypothèse de calcul fournit une incertitude trop faible. Il n'y a pas que la statistique de comptage qui est importante, il faut qu'il tienne compte aussi de l'incertitude systématique (sur l'étalonnage, les facteurs de correction, etc.).

On l'a déjà dit, lorsqu'on renonce à appliquer les corrections de sommations, il faut augmenter l'incertitude du résultat.

Notons que les logiciels récents permettent d'introduire une composante supplémentaire d'incertitude dans les paramètres de l'analyse.

Dans 16% des cas, le radionucléide n'a pas été rapporté par le participant (Sr-85, Lu-176, Lu-177 ou Lu-177m). Soit parce qu'il n'a pas été détecté parmi les nombreuses lignes ou parce que le niveau d'activité de l'échantillon était proche de la limite de détection de certains équipements ou procédures de mesure.

En conclusion, on peut dire que le niveau de performance général est bon et semblable à celui des années précédentes. La majorité des laboratoires disposent d'installation relativement récentes, bien étalonnées et régulièrement suivies. Les logiciels utilisés et les versions sont assez variés. De plus, la moitié des laboratoires ont la possibilité de déterminer et d'appliquer des corrections fines pour les effets des sommations. On a constaté qu'un effort particulier avait été consenti lors de cette intercomparaison par les participants pour résoudre les inconnues d'un spectre particulièrement difficile.

5. Remerciements

Les organisateurs tiennent à remercier chaleureusement les participants pour le soin qu'ils ont apporté au bon déroulement de cette campagne de mesure.

Ils remercient leurs collègues de IRA-METAS, Teresa Dúran, Frédéric Juget et Youcef Nedjadi, pour la mise à disposition de solutions radioactives certifiées, ainsi que Corinne Moratal pour la préparation des échantillons.

6. Annexe : liste des participants

Herr Rolf Althaus
Labor Spiez
Gruppe Radioaktivität
Austrasse
3700 Spiez
058 481 87 57 / rolf.althaus@babs.admin.ch

Herr Robert Brogioli
Dienststelle Lebensmittelkontrolle und
Verbraucherschutz (DILV)
Chemie 1
Vonmattstrasse 16
6003 Luzern
041 248 84 05 / robert.brogioli@lu.ch

Monsieur Marco De Rossa
Laboratorio cantonale
Via Mirasole 22
6500 Bellinzona
091 814 61 65 / marco.derossa@ti.ch

Frau Jeannette Flückiger
Kernkraftwerk Leibstadt AG
UCL Chemielabor Kalt
5325 Leibstadt
056 267 84 19 / jeannette.flueckiger@kkl.ch

Herr Claudius Gemperle
Kanton Aargau DGS
Amt für Verbraucherschutz
Lebensmittelkontrolle
Obere Vorstadt 14
5000 Aarau
062 835 30 55 / claudius.gemperle@ag.ch

Herr Andreas Leupin
ENSI Eidgenössisches
Nuklearsicherheitsinspektorat
Bereich Strahlenschutz
Industriestrasse 19
5201 Brugg
056 460 86 32 / andreas.leupin@ensi.ch

Frau Susanne Nussbaumer
Kantonales Laboratorium BE
Muesmattstrasse 19
3012 Bern
031 633 11 11 / susanne.nussbaumer@be.ch

Frau Anja Pregler
Kantonales Laboratorium BS
Kannenfeldstrasse 2
4056 Basel
061 385 25 63 / anja.pregler@bs.ch

Herr Dietmar Baumann
Amt für Lebensmittelsicherheit und
Tiergesundheit GR
Ringstrasse 10
Postfach
7001 Chur
081 257 26 24 / dietmar.baumann@alt.gr.ch

Herr Sandro D'Amato
SUVA
Bereich ALC
Rösslimattstrasse 39
CP 4358
6002 Luzern
041 419 64 03 / sandro.damato@suva.ch

Monsieur Giovanni Ferreri
OFSP
Division Radioprotection
Radioactivité de l'environnement
Schwarzenburgstr. 157
3003 Bern
058 465 19 12 / giovanni.ferreri@bag.admin.ch

Herr Patrick Franz
Axpo Power AG
Kernkraftwerk Beznau
KBU-C
5312 Döttingen
056 266 73 18 / patrick.franz@axpo.com

Herr Martin Heule
Paul Scherrer Institut
Abteilung für Strahlenschutz und Sicherheit
(ASI)
Radioanalytik
5232 Villigen - PSI
056 310 31 52 / martin.heule@psi.ch

Monsieur Fabrice Malacrida
CERN
HSE-RP-CS
24/R-009
1211 Genève 23
075 411 01 08 / fabrice.malacrida@cern.ch

Madame Stavroula Pallada
hepia haute école du paysage, d'ingénierie et
d'architecture
Laboratoire de Physique Nucléaire
Rue de la Prairie 4
1202 Genève
022 546 25 26 / stavroula.pallada@hesge.ch

Herr Stephan Reber
Kantonales Labor Zürich
Abteilung Elementanalytik
Fehrenstrasse 15
Postfach 1471
8032 Zürich
043 244 71 93 / stephan.reber@kl.zh.ch

Herr Pascal Rünzi
EAWAG
Ueberlandstrasse 133
8600 Dübendorf
058 765 55 10 / pascal.ruenzi@eawag.ch

Madame Marietta Straub
Institut de radiophysique - CHUV
GCR
Rue du Grand-Pré 1
1007 Lausanne
021 314 81 73 / marietta.straub@chuv.ch

Herr Hans Zbinden
BKW Energie AG
Kernkraftwerk Mühleberg
Ressort Chemie
3203 Mühleberg
058 477 73 09 / hans.zbinden@bkw.ch

Herr Alexander Schönmann
Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG
Kraftwerkstrasse
4658 Däniken
062 288 31 67 / aschoenmann@kkg.ch

Herr Peter Wernli
Kernkraftwerk Leibstadt AG
UCL Chemielabor Heiss
5325 Leibstadt
056 267 84 19 / peter.wernli@kkl.ch
