



RAPPORT INTERCOMPARAISON 2009 EN SPECTROMÉTRIE GAMMA SUR DES ÉCHANTILLONS DE L'ENVIRONNEMENT

Auteurs : Claude Bailat, Thierry Buchillier, Yvan Caffari, Youcef Nedjadi,
Jean-Pascal Laedermann, Sandrine Zufferey, Sybille Estier et
François Bochud

Version : 27 novembre 2009

1 INTRODUCTION

L'Institut universitaire de radiophysique (IRA) est mandaté par l'Office 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. 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.

Cette année une solution multinucléidique a été distribuée aux participants. Cette solution a pour but de fournir un étalon adéquat pour l'étalonnage en efficacité des spectromètres gamma. Les radionucléides de cette solution ont été choisis pour couvrir une plage en énergie s'étendant de 80 à 1840 keV. Malheureusement aucun radionucléide ayant des émissions en dessous de 80 keV, typiquement Pb-210 ou Am-241, n'a pu être ajouté pour des raisons de radioprotection. Sur les 23 laboratoires suisses concernés par ce type de mesure, 20 ont participé (voir Tableau 1). La chronologie de la campagne est rappelée dans le Tableau 2.

Tableau 1 : Participants à l'intercomparaison 2009.

NOM	Adresse	NOM	Adresse
Monsieur Nicola Solcà	Laboratorio cantonale Via Mirasole 22 6500 Bellinzona	Monsieur Jean-Luc Loizeau	Université de Genève Institut F.A. Forel Rte de Suisse 10 1290 Versoix
Herr Jost Eikenberg	Paul Scherrer Institut Abteilung für Strahlenschutz und Sicherheit 5232 Villigen - PSI	Herr Sergio Giannini	SUVA Sektion Physik Rösslimattstrasse 39 6005 Luzern
Herr Stefan Röllin	Bundesamt für Bevölkerungsschutz des VBS Labor Spiez 3700 Spiez	Monsieur Eric Poitevin	Centre de Recherche Nestlé Vers-chez-les-Blanc Case postale 44 1000 Lausanne 26
Madame Sybille Estier	OFSP Section Radioactivité de l'environnement Schwarzenburgstr. 165 3097 Bern-Liebfield	Herr Patrick Franz	Kernkraftwerk Beznau Chemielabor 5312 Döttingen
Herr Max Haller	BKW FMB Energie AG Kernkraftwerk Mühleberg Ressort Chemie 3203 Mühleberg	Herr Marian Fajak	EAWAG SURF Ueberlandstrasse 133 Postfach 611 8600 Dübendorf
Herr Markus Zehringer	Kantonales Laboratorium BS Kannenfeldstrasse 2 Postfach 4012 Basel	Monsieur Pavol Vojtyla	CERN Safety Commission 1211 Genève 23

NOM	Adresse	NOM	Adresse
Frau Claudine Bajo	Kanton Aargau Amt für Verbraucherschutz Obere Vorstadt 14 5000 Aarau	Herr Alexander Wehrli	Kantonales Laboratorium TG Spannerstrasse 20 8510 Frauenfeld
Herr Thomas Kaufmann	Dienststelle Lebensmittelkontrolle und Verbraucherschutz (DLV) Vonmattstrasse 16 Postfach 6002 Luzern	Herr Andreas Leupin	Eidgenössisches Nuclearsicherheitsinspektorat ENSI Abt. Strahlenschutz 5232 Villigen - ENSI
Monsieur Gilles Triscone	hepia haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture Laboratoire de Physique Nucléaire Rue de la Prairie 4 1202 Genève	Herr Dietmar Baumann	Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit GR Planaterrastrasse 11 Postfach 7001 Chur

Tableau 2 : Chronologie de la campagne

Date	Événement
14 avril	Circulaire d'invitation, avec délai de réponse au 1 ^{er} aout 2009
10 aout	Envoi des échantillons aux participants
22 octobre	Réception du dernier résultat
19 novembre	Distribution du présent rapport aux participants
24 novembre	Réunion de discussion relative à cette intercomparaison

1.1 Composition et confection des sources de référence

Les échantillons de cette intercomparaison ont été préparés par les soins du laboratoire primaire de l'IRA. Chaque participant a reçu un récipient étanche en polyéthylène d'environ 1000 ml contenant une solution de Ba-133, Cd-109, Ce-139, Co-57, Co-60, Cr-51, Cs-137 et Y-88. Le Tableau 3 et Tableau 4 rappellent les données nucléaires des composants de la solution multinucléidique.

Des solutions mères du mélange de radionucléides ont été préparées et distribuées dans des pycnomètres. Plus de 25 flacons remplis d'entraîneur ont été préparés. Les sources ont été réalisées par ajouts gravimétriques de quantités connues d'activité dans la solution d'entraîneur de masse connue également. Chaque échantillon a donc une concentration radioactive propre et le Tableau 5 résume les concentrations radioactives de référence par radionucléide des solutions fournies aux participants. L'incertitude est donnée à $k=1$ et tient compte des évaluations de type A et B de l'incertitude. La contribution la plus importante vient de l'incertitude sur l'activité équivalente et du facteur d'étalonnage de la chambre d'ionisation de référence de l'IRA.

Tableau 3 : Données nucléaires principales des radionucléides de la solution. E est l'énergie d'émission, p la probabilité d'émission et s(p)/p son incertitude relative associée à ($k=1$).

Radionucléide	E [keV]	p [%]	s(p)/p
Ba-133	80.99	35.55	0.84%
Cd-109	88.03	3.65	1.64%
Co-57	122.06	85.68	0.15%
Co-57	136.47	10.67	1.22%
Ce-139	165.86	79.90	0.05%
Ba-133	276.40	7.16	0.70%
Ba-133	302.85	18.34	0.71%
Cr-51	320.08	9.87	0.05%
Ba-133	356.01	62.05	0.31%
Ba-133	383.85	8.94	0.67%
Cs-137	661.66	84.99	0.24%
Y-88	898.04	94.10	0.05%
Co-60	1173.29	99.85	0.03%
Co-60	1332.49	99.98	0.06%
Y-88	1836.06	99.36	0.05%

Tableau 4 : Périodes des éléments radioactifs de la solution radioactive.

Nuclide	T _{1/2} [h]	s _{T_{1/2}} [h]	s _{T_{1/2}} [%]
Cr-51	664.872	0.072	0.011%
Co-57	6523.200	1.200	0.018%
Co-60	46204.599	7.013	0.015%
Y-88	2559.024	0.504	0.020%
Cd-109	11073.600	28.800	0.260%
Ba-133	92391.667	52.595	0.057%
Cs-137	263412.674	701.265	0.266%
Ce-139	3303.384	0.480	0.015%

Tableau 5 : Concentrations radioactives des solutions envoyées aux participants.

Source	Masse totale [g]	Incertitude sur la masse totale [%]	Nucléides	Concentration radioactive [Bg/g]	Incertitude sur la concentration radioactive [%]
Mix3B02	1001.2	0.01%	Cr-51	19.387	1.801%
			Co-57	1.112	0.325%
			Co-60	6.277	0.127%
			Y-88	8.311	0.416%
			Cd-109	22.786	0.563%
			Ba-133	4.053	0.216%
			Cs-137	4.100	0.183%
			Ce-139	1.900	0.348%
Mix3B03	1001.1	0.01%	Cr-51	20.356	1.801%
			Co-57	1.168	0.325%
			Co-60	6.591	0.126%
			Y-88	8.726	0.415%
			Cd-109	23.925	0.563%
			Ba-133	4.255	0.215%
			Cs-137	4.305	0.183%
			Ce-139	1.995	0.348%
Mix3B04	1001.1	0.01%	Cr-51	18.719	1.801%
			Co-57	1.074	0.325%
			Co-60	6.061	0.126%
			Y-88	8.024	0.416%
			Cd-109	22.000	0.563%
			Ba-133	3.913	0.215%
			Cs-137	3.959	0.183%
			Ce-139	1.834	0.348%
Mix3B05	1001.2	0.01%	Cr-51	18.535	1.801%
			Co-57	1.064	0.325%
			Co-60	6.001	0.126%
			Y-88	7.945	0.415%
			Cd-109	21.784	0.563%
			Ba-133	3.875	0.215%
			Cs-137	3.920	0.183%
			Ce-139	1.816	0.348%
Mix3B06	1001.2	0.01%	Cr-51	21.894	1.801%
			Co-57	1.256	0.324%
			Co-60	7.089	0.125%
			Y-88	9.385	0.415%
			Cd-109	25.732	0.563%
			Ba-133	4.577	0.215%
			Cs-137	4.630	0.182%
			Ce-139	2.146	0.348%
Mix3B07	1001.2	0.01%	Cr-51	20.042	1.801%
			Co-57	1.150	0.324%
			Co-60	6.489	0.125%
			Y-88	8.592	0.415%
			Cd-109	23.556	0.563%

			Ba-133	4.190	0.215%
			Cs-137	4.239	0.182%
			Ce-139	1.964	0.348%
Mix3B08	1001.1	0.01%	Cr-51	19.729	1.801%
			Co-57	1.132	0.324%
			Co-60	6.388	0.125%
			Y-88	8.457	0.415%
			Cd-109	23.187	0.563%
			Ba-133	4.124	0.214%
			Cs-137	4.172	0.182%
			Ce-139	1.933	0.348%
Mix3B09	1001.2	0.01%	Cr-51	21.767	1.801%
			Co-57	1.249	0.324%
			Co-60	7.048	0.124%
			Y-88	9.331	0.415%
			Cd-109	25.583	0.563%
			Ba-133	4.550	0.214%
			Cs-137	4.603	0.182%
			Ce-139	2.133	0.347%
Mix3B10	1001.2	0.01%	Cr-51	21.172	1.801%
			Co-57	1.215	0.324%
			Co-60	6.855	0.124%
			Y-88	9.076	0.415%
			Cd-109	24.884	0.563%
			Ba-133	4.426	0.214%
			Cs-137	4.478	0.182%
			Ce-139	2.075	0.347%
Mix3B11	1001.2	0.01%	Cr-51	21.877	1.801%
			Co-57	1.255	0.324%
			Co-60	7.083	0.124%
			Y-88	9.378	0.415%
			Cd-109	25.713	0.563%
			Ba-133	4.573	0.214%
			Cs-137	4.627	0.182%
			Ce-139	2.144	0.347%
Mix3B12	1001.2	0.01%	Cr-51	21.912	1.801%
			Co-57	1.257	0.324%
			Co-60	7.095	0.124%
			Y-88	9.393	0.415%
			Cd-109	25.754	0.563%
			Ba-133	4.581	0.214%
			Cs-137	4.634	0.181%
			Ce-139	2.147	0.347%
Mix3B13	1001.2	0.01%	Cr-51	18.333	1.802%
			Co-57	1.052	0.327%
			Co-60	5.936	0.132%
			Y-88	7.859	0.417%
			Cd-109	21.548	0.565%
			Ba-133	3.833	0.219%
			Cs-137	3.877	0.187%
			Ce-139	1.797	0.350%

Mix3B14	1001.1	0.01%	Cr-51	20.058	1.802%
			Co-57	1.151	0.326%
			Co-60	6.494	0.130%
			Y-88	8.598	0.417%
			Cd-109	23.575	0.564%
			Ba-133	4.193	0.217%
			Cs-137	4.242	0.186%
			Ce-139	1.966	0.350%
Mix3B15	1001.2	0.01%	Cr-51	19.026	1.802%
			Co-57	1.092	0.326%
			Co-60	6.160	0.130%
			Y-88	8.156	0.417%
			Cd-109	22.362	0.564%
			Ba-133	3.977	0.218%
			Cs-137	4.024	0.186%
			Ce-139	1.865	0.350%
Mix3B16	1001.1	0.01%	Cr-51	21.684	1.802%
			Co-57	1.244	0.325%
			Co-60	7.021	0.128%
			Y-88	9.295	0.416%
			Cd-109	25.485	0.564%
			Ba-133	4.533	0.216%
			Cs-137	4.586	0.184%
			Ce-139	2.125	0.349%
Mix3B18	1001.1	0.01%	Cr-51	20.447	1.802%
			Co-57	1.173	0.325%
			Co-60	6.620	0.128%
			Y-88	8.765	0.416%
			Cd-109	24.032	0.564%
			Ba-133	4.274	0.216%
			Cs-137	4.324	0.184%
			Ce-139	2.004	0.349%
Mix3B19	1001.2	0.01%	Cr-51	19.519	1.802%
			Co-57	1.120	0.325%
			Co-60	6.320	0.128%
			Y-88	8.367	0.416%
			Cd-109	22.941	0.564%
			Ba-133	4.080	0.216%
			Cs-137	4.128	0.184%
			Ce-139	1.913	0.349%
Mix3B24	1001.2	0.01%	Cr-51	19.300	1.801%
			Co-57	1.108	0.325%
			Co-60	6.249	0.126%
			Y-88	8.273	0.416%
			Cd-109	22.684	0.563%
			Ba-133	4.035	0.215%
			Cs-137	4.082	0.183%
			Ce-139	1.891	0.348%

1.2 Équipement et méthodes des participants

Le Tableau 6 résume les équipements utilisés par les participants et le Tableau 7 les outils et méthodes d'analyse.

Tableau 6 : Résumé des équipements des différents laboratoires.

Laboratoires	Détecteur	Mise en fonction	Eff. [%]	Logiciel	Étalonnage, type	Date
Abteilung für Strahlenschutz und Sicherheit, PSI	HPGe type p Eurisy IGPC20	1998	30	InterWinner ver. 5.0	Amersham	2003
EAWAG, SURF, Dübendorf	Canberra GCW 3022 p-type	1988	30	InterWinner ver. 5.0	Nuclitec	2009
Kantonales Laboratorium Basel	HPGe type p Eurisy EGPC28-18-r	1997	28	Interwinner ver. 5.0	UKAS	2009
	Intertechnique GEM 50 P	2009	50			
SUVA, Sektion Physik	HPGe type n Intertechnique EGC 20R	1989	20	Winner ver. 6.0	Czeck Metrological Institute	2006
Labor Spiez	HPGe type n Canberra GR 3018	2001	30	Genie VMS	AEA Technology, Amersham	2001
hepia, Laboratoire de physique nucléaire	HPGe à puits type p Eurisy EGPC 155 P15	1997/99	32	InterWinner ver. 5.0	IRA et DAMRI	2000
Université de Genève, Institut F.A. Forel	HPGe type n Ortec GMX-50220-S	1990	-	Gamma Vision ver. 5.1	IRA	2006
CERN, Safety Commission	HPGe type p Canberra GC 5019	2007	50.4	Genie 2000 Ver. 2 .1	NIST	1999
Kanton Aargau, Amt für Verbraucherschutz, Aarau	HPGe type p PGT IGC27	1989	27.7	Winner ver. 6.0	IRA	2003
Amt für Lebensmittelkontrolle und Verbraucherschutz, Luzern	HPGe type n Intertechnique EGPC25	1990	25.8	InterWinner ver. 5.05	IRA	2000
OFSP, Section Radioactivité de l'environnement	HPGe type p Ortec GEM 40P	2004	40	Interwinner 5.0 et Winner 6.0	Czeck Metrological Institute	2009
Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit GR	HPGe type p Ortec GEM-25P4	2005	25	InterWinner ver.5.05	IRA	2009
Kernkraftwerk Beznau	HPGe type p CanberraGC3018	1999	30	Interwinner ver. 4.1	Ba-133/Eu- 152	2000

Laboratoires	Détecteur	Mise en fonction	Eff. [%]	Logiciel	Étalonnage, type	Date
ENSI, Abteilung Strahlenschutz	HPGe type p GC 5019	2009	50	Winner ver. 6.0	QSA Global	2009
BKW FMB Energie AG Kernkraftwerk Mühleberg	Ortec Pp Tp, GEM 40P	2001	40	Winner ver. 6.0	IRA	2001
Laboratorio cantonale Bellinzona	Ortec GEM30	2003	30	Interwinner ver. 5.0	Czeck Metrological Institute	2007
Centre de Recherche Nestlé Vers-chez-les-Blanc Case postale 44 1000 Lausanne 26	Ortec GEM 40P	2004	30	Interwinner ver. 5.0	ISOTRAK	2004
Kantonales Laboratorium TG Spannerstrasse 20 8510 Frauenfeld	Nal Armée	-	-	AE 98	-	-

Tableau 7 : Résumé des méthodes d'analyse des différents laboratoires.

Laboratoires	Volume [ml]	Type de récipient	Distance [mm]	Corr de somm.
Abteilung für Strahlenschutz und Sicherheit, PSI	50	Weithalsbehälter (à large ouverture)	sur le détecteur	non
EAWAG, SURF, Dübendorf	250	Semadeni (94 mm x 38 mm)	sur le détecteur	Non
Kantonales Laboratorium Basel	1000, 500, 250	Marinelli, cyl.	sur le détecteur	Oui
SUVA, Sektion Physik	500	Semadeni (95 mm x 95 mm)	sur le détecteur	non
Labor Spiez	1000	Cyl. : 172 mm / 43 mm / 1000 ml	60	non
hepia, Laboratoire de physique nucléaire	50	CEA Type E (39 mm x 75 mm)	6	Oui, ISOCS
Université de Genève, Institut F.A. Forel	250 rempli à 40	Semadeni 250 ml	Sur le détecteur	Oui, GESPECOR
CERN, Safety Commission	500	Semadeni 1742	10 mm	Oui
Kanton Aargau, Amt für Verbraucherschutz, Aarau	500	Semadeni 1742	sur le détecteur	Oui
Amt für Lebensmittelkontrolle und Verbraucherschutz, Luzern	500	Cyl. (94 mm x 79 mm)	2 mm	Oui
OFSP, Section Radioactivité de l'environnement	500	Cyl. (95 mm x 73 mm / 520 cm3)	sur le détecteur	Oui, Gespecor
Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit GR	1000	AC	sur le détecteur	non

Laboratoires	Volume [ml]	Type de récipient	Distance [mm]	Corr de somm.
Kernkraftwerk Beznau	50	Cyl. 45 mm x 31 mm	sur le détecteur	non
ENSI, Abteilung Strahlenschutz	1000	Cyl. 95 mm x 200 mm	sur le détecteur	non
BKW FMB Energie AG Kernkraftwerk Mühleberg	500	Semadeni	3 mm	non
Laboratorio cantonale Bellinzona	250	Semadeni	60 mm	non
Centre de Recherche Nestlé Vers-chez-les-Blanc Case postale 44 1000 Lausanne 26	500	Semadeni 1742	-	non
Kantonales Laboratorium TG Spannerstrasse 20 8510 Frauenfeld	500	Semadeni	-	non

2 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les participants ont utilisé leur rapport courant de présentation des résultats et aussi simplement la feuille distribuée avec les échantillons. Les rapports de mesure ajoutés au formulaire sont clairement rédigés et présentent les données utiles. Le logiciel d'analyse des spectres le plus usité est InterWinner/Winner et seuls quatre participants utilisent un autre produit.

La plupart des laboratoires ont identifié correctement les radionucléides de l'échantillon et ont indiqué leurs concentrations radioactives. Le laboratoire 4 a en plus détecté du Cs-134, ce qui n'a pas été confirmé par nos mesures. Le laboratoire utilisant un détecteur de type NaI est fortement désavantagé et n'a pu mesurer tous les radionucléides, mais ses résultats ont été analysés avec les autres.

Le Tableau 8 présente l'ensemble des valeurs telles qu'elles ont été rapportées par les laboratoires. La majorité des laboratoires ont indiqué une incertitude de mesure sur leur rapport. Néanmoins, certains laboratoires n'ont pas précisé le facteur d'élargissement (k) retenu. Dans le doute, nous avons estimé que le facteur d'élargissement était de ($k=1$). Certains résultats ont été fournis sans incertitude et comme le formulaire de mesure était fourni avec l'impression du logiciel, nous avons reporté l'incertitude calculée par le programme d'analyse, ce qui sous-estime cette incertitude. Les résultats ont aussi été transformés en Bq/g en utilisant une masse volumique de $0.999 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$. La date de référence a été fixée au 15.08.09 à 2:00 (TEC) et l'activité a été corrigée en utilisant les périodes radioactives du Tableau 4 pour le participant numéro 3. 10 laboratoires ont fourni des résultats sans date de référence, ce qui est préoccupant vu la courte période du Cr-51 par exemple. Le Tableau 9 présente les valeurs après correction pour tous les participants.

En utilisant les valeurs du Tableau 5 et Tableau 9, l'écart relatif à la valeur de référence peut être calculé. Le Tableau 10 résume les valeurs obtenues. Ces valeurs sont représentées graphiquement dans la Figure 1 et Figure 2. La première figure montre les écarts relatifs détaillés pour chaque radionucléide ainsi que les incertitudes associées. Entre 4 et 9 valeurs de concentration radioactive sont incompatibles avec la valeur de référence. Les écarts relatifs des radionucléides avec des émissions à plus haute énergie (Co-60, Y-88) présentent plus de valeurs s'éloignant de la référence et ceci aussi dû au fait des petites incertitudes de mesures reportées. La Figure 2 synthétise ces résultats par laboratoire, mais en omettant les incertitudes pour des raisons de lisibilité du graphique. On peut remarquer que la majorité des valeurs d'écart relatif reste dans une fourchette de 10 %. De bons résultats doivent rester groupés, ce qui permet un ajustement facile de la courbe d'efficacité par un offset. Par contre, des résultats très dispersés montrent que la forme de courbe d'efficacité devra être aussi ajustée.

Afin de juger des résultats et de la cohérence des incertitudes rapportées, on a utilisé l'outil statistique du test Zeta (ζ), qui est défini par la relation :

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

où A_{mes} est la concentration radioactive mesurée par un laboratoire, A_{ref} est la concentration radioactive de référence et u_{mes} et u_{ref} sont les incertitudes-types ($k=1$) associées à la mesure du laboratoire et à la référence respectivement.

Selon les normes internationales, la valeur de ζ s'interprète de la manière suivante :

- Quand le score ζ est au-dessus de 2.0 ou en dessous de -2.0, cela signale un avertissement (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 10 résume les valeurs de ζ obtenues pour les participants à l'intercomparaison. Ces valeurs par participants sont synthétisées dans la Figure 3. Les limites du "warning" et "action" sont sur le graphe et permettent de voir que peu de résultats atterrissent dans la zone nécessitant une action corrective. En tout, seuls 3 ou 4 laboratoires se trouvent dans une zone d'avertissement, mais aucun systématiquement dans la zone d'action. La Figure 4 montre ces mêmes valeurs, mais par radionucléide. Le graphe combine un histogramme des résultats des 20 participants avec un graphe statistique qui représente les percentiles 25-75% par un rectangle contenant la moyenne, représentée par un point carré, et la médiane, représentée par un trait horizontal. De plus, les minimum et maximum de la distribution sont représentés par les moustaches. Ce graphe permet d'écarter toutes causes systématiques d'erreur, qui se traduirait par un radionucléide présentant des résultats nettement plus mauvais que les autres. Les distributions des valeurs ζ sont bien centrées sur le zéro et peu de résultats s'écartent significativement des zones recommandées.

Tableau 8 : Ensemble des résultats bruts communiqués par chaque laboratoire.

N°	Date de réception des résultats	Date/heure de référence	Unité	Cr-51	Inc.	Co-57	Inc.	Co-60	Inc.	Y-88	Inc.	Cd-109	Inc.	Ba-133	Inc.	Cs-137	Inc.	Ce-139	Inc.	Cs-134	Inc.	Type inc.	
1																							
2	29.09.2009	15.08.2009 02:00	Bq/kg	20001	1296	1112	108	6249	286	8301	417	24072	2365	4154	258	4147	227	1934	193			k=2	
3	17.09.2009	01.08.2009	Bq/l	28800	1440	1190	59.5	6560	328	9450	472.5	25400	1270	4210	210.5	4250	212.5	2200	110			k=2	
4	23.09.2009	15.08.2009 02:00	Bq/g	1.75E+01	1.4E+00	1.06E+00	5.3E-02	6.02E+00	3.0E-01	7.87E+00	3.9E-01	2.17E+01	1.2E+00	3.90E+00	2.0E-01	3.80E+00	1.9E-01	1.81E+00	9.1E-02	3.38E-03	7.4E-04	k=1	
5	30.09.2009	15.08.2009 02:00	kBq/l	18.0	1.1	1.05	0.07	5.95	0.33	7.87	0.44	22.2	1.6	3.7	0.3	3.96	0.23	1.75	0.11			k=2	
6	24.09.2009		Bq/l	2.19E+04	3.72E+02	1.31E+03	2.36E+01	7.50E+03	3.75E+01	9.63E+03	3.85E+01	2.88E+04	7.20E+02	4.42E+03	6.63E+01	4.91E+03	4.91E+01	2.18E+03	3.92E+01			k=1	
6	24.09.2009		Bq/l	2.17E+04	3.69E+02	1.29E+03	2.32E+01	7.50E+03	3.75E+01	9.66E+03	3.86E+01	2.71E+04	6.78E+02	4.45E+03	6.68E+01	4.92E+03	4.92E+01	2.20E+03	3.96E+01			k=1	
7	29.09.2009		Bq/l	24245	617	1352	58	7308	565	9750	476	26659	402	4768	196	4996	202	2466	82			k=2	
7	29.09.2009		Bq/l	19322	617	1212	58	6954	565	9061	476	25230	402	4011	196	4479	202	2011	82			k=2	
8	24.09.2009	15.08.2009 02:00	Bq/kg	19270	580	1130	40	6400	190	8520	400	20750	1100	4130	210	4150	120	1980	100			k=2	
9	10.09.2009		Bq/l	2.18E+04	1.09E+03	1.26E+03	5.88E+01	6.86E+03	3.08E+02	8.87E+03	3.98E+02	2.49E+04	1.27E+03	4.02E+03	1.73E+02	4.43E+03	2.18E+02	2.12E+03	1.04E+02			k=2	
10	01.10.2009	15.08.2009 00:00	Bq/g	21.02	0.94	1.23	0.08	6.68	0.28	8.94	0.37	24.67	1.74	4.40	0.19	4.44	0.20	2.09	0.09			k=2	
11	16.10.2009	15.08.2009 02:00	Bq/kg	21370	460	1298	35	7440	190	8610	220	23920	620	4960	150	4780	180	1980	120			k=1	
12	11.09.2009	15.08.2009 02:00	Bq/l	2.22E+04	1.30E+03	1.20E+03	1.00E+02	6.80E+03	2.00E+02	9.20E+03	4.00E+02	2.53E+04	1.40E+03	4.60E+03	3.00E+02	4.50E+03	2.00E+02	2.20E+03	2.00E+02			k=2	
13	28.09.2009		Bq/l	20112	994	1053	51	5590	229	7295	298	21348	1368	4100	247	3762	160	1967	90			k=2	
14	02.10.2009	15.08.2009 02:00	Bq/m3	2.13E+07	3.25E+05	1.29E+06	1.73E+04	6.46E+06	7.86E+04			2.60E+07	6.00E+05	4.28E+06	5.79E+04	4.61E+06	6.15E+04	2.17E+06	2.63E+04			k=1	
15	02.10.2009		Bq/g	16.3	0.3	0.96	0.02	5.57	0.06	7.22	0.09	19.3	0.48	3.09	0.04	3.61	0.04	1.60	0.02				
16	19.09.2009	15.08.2009 02:00	kBq/l	20.0	1.1	1.16	0.05	6.73	0.11	8.9	0.2	23	2	4.4	0.2	4.42	0.11	2.05	0.09			k=2	
18	27.08.2009		Bq/kg			1270	180	5700	840	7990	1100					4770	970	2040	410				
19	28.08.2009	15.08.2009 02:00	Bq/l	1.98E+04	9.13E+02	1.14E+03	6.29E+01	7.47E+03	2.35E+02	9.88E+03	2.42E+02	2.46E+04	1.89E+03	4.05E+03	1.76E+02	4.29E+03	1.68E+02	1.94E+03	9.37E+01			k=2	
19	28.08.2009	15.08.2009 02:00	Bq/l	1.95E+04	9.01E+02	1.12E+03	6.21E+01	7.38E+03	2.32E+02	9.77E+03	2.40E+02	2.45E+04	1.88E+03	4.00E+03	1.74E+02	4.23E+03	1.65E+02	1.91E+03	9.23E+01			k=2	
24	12.09.2009		Bq/kg	21160	634.8	913	9.13	7816	78.16	9927	248.175	15580	779	4350	87	4904	98.08	1784	17.84				
24	12.09.2009		Bq/kg	21380	641.4	910	9.1	7866	78.66	10010	250.25	15550	777.5	4319	86.38	4952	99.04	1809	18.09				

Tableau 9 : Ensemble des résultats corrigés pour chaque laboratoire. Les concentrations radioactives sont données en Bq/g, l'incertitude relative élargie est à ($k=2$) ; si le candidat n'a pas donné la valeur de k , il a été décidé que c'était ($k=1$). La date de référence a été fixée au 15.08.09 à 2:00 et l'activité corrigée en utilisant les périodes du Tableau 4.

N°	Cr-51 [Bq/g]	inc. rel [%]	Co-57 [Bq/g]	inc. rel [%]	Co-60 [Bq/g]	inc. rel [%]	Y-88 [Bq/g]	inc. rel [%]	Cd-109 [Bq/g]	inc. rel [%]	Ba-133 [Bq/g]	inc. rel [%]	Cs-137 [Bq/g]	inc. rel [%]	Ce-139 [Bq/g]	inc. rel [%]
2	20.00	6.48	1.11	9.71	6.25	4.58	8.30	5.02	24.07	9.82	4.15	6.21	4.15	5.47	1.93	9.98
3	20.31	5.00	1.15	5.00	6.53	5.00	8.64	5.00	24.90	5.00	4.20	5.00	4.25	5.00	2.05	5.00
4	17.5	16.00	1.06	10.00	6.02	9.97	7.87	9.91	21.7	11.06	3.9	10.26	3.8	10.00	1.81	10.06
5	18.02	6.11	1.05	6.67	5.96	5.55	7.88	5.59	22.22	7.21	3.70	8.11	3.96	5.81	1.75	6.29
6	21.92	4.83	1.31	5.13	7.51	1.41	9.64	1.13	28.83	7.30	4.42	4.23	4.91	2.83	2.18	5.07
7	24.27	4.52	1.35	6.77	7.32	11.49	9.76	7.43	26.69	2.25	4.77	6.91	5.00	6.38	2.47	5.77
8	19.27	3.01	1.13	3.54	6.4	2.97	8.52	4.69	20.75	5.30	4.13	5.08	4.15	2.89	1.98	5.05
9	21.82	5.00	1.26	4.67	6.87	4.49	8.88	4.49	24.92	5.10	4.02	4.30	4.43	4.92	2.12	4.91
10	21.02	4.45	1.23	6.25	6.68	4.19	8.94	4.16	24.67	7.07	4.4	4.40	4.44	4.43	2.09	4.31
11	21.37	4.31	1.298	5.39	7.44	5.11	8.61	5.11	23.92	5.18	4.96	6.05	4.78	7.53	1.98	12.12
12	22.22	5.86	1.20	8.33	6.81	2.94	9.21	4.35	25.33	5.53	4.60	6.52	4.50	4.44	2.20	9.09
13	20.13	9.88	1.05	9.69	5.60	8.19	7.30	8.17	21.37	12.82	4.10	12.05	3.77	8.51	1.97	9.15
14	21.28	3.06	1.29	2.70	6.47	2.43			26.01	4.62	4.29	2.70	4.61	2.67	2.17	2.43
15	16.3	3.68	0.96	4.17	5.57	2.15	7.22	2.49	19.3	4.97	3.09	2.59	3.61	2.22	1.6	2.50
16	20.02	5.50	1.16	4.31	6.74	1.63	8.91	2.25	23.02	8.70	4.40	4.55	4.42	2.49	2.05	4.39
18			1.27	28.35	5.7	29.47	7.99	27.53					4.77	40.67	2.04	40.20
19	19.82	6.58	1.14	7.89	7.48	4.47	9.89	3.49	24.62	10.88	4.05	6.19	4.29	5.57	1.94	6.89
24	21.16	8.44	0.913	2.83	7.816	2.82	9.927	7.04	15.58	14.16	4.35	5.68	4.904	5.63	1.784	2.81

Tableau 10 : Valeurs de l'écart relatif (ER) à la référence et du test ζ (zeta).

N°	Cr-51		Co-57		Co-60		Y-88		Cd-109		Ba-133		Cs-137		Ce-139	
	ER [%]	ζ	ER [%]	Z	ER [%]	ζ	ER [%]	ζ								
2	3.17	0.24	0.00	0.00	-0.45	-0.05	-0.12	-0.01	5.64	0.27	2.49	0.20	1.15	0.10	1.79	0.09
3	-0.23	-0.02	-1.59	-0.16	-0.87	-0.09	-1.02	-0.10	4.06	0.39	-1.21	-0.12	-1.27	-0.13	2.87	0.28
4	-6.51	-0.22	-1.30	-0.07	-0.68	-0.03	-1.92	-0.10	-1.36	-0.06	-0.33	-0.02	-4.02	-0.21	-1.31	-0.07
5	-2.79	-0.23	-1.22	-0.09	-0.75	-0.07	-0.84	-0.08	2.01	0.14	-4.42	-0.29	1.12	0.10	-3.54	-0.29
6	0.13	0.01	4.40	0.41	5.90	1.97	2.71	1.17	12.03	0.74	-3.33	-0.41	6.15	1.03	1.69	0.16
7	21.09	1.93	17.68	1.11	12.73	0.49	13.59	0.81	13.29	2.60	13.91	0.88	17.98	1.19	25.69	1.77
8	-2.33	-0.40	-0.18	-0.03	0.19	0.03	0.74	0.08	-10.51	-1.11	0.15	0.01	-0.53	-0.09	2.43	0.24
9	0.25	0.03	0.98	0.10	-2.57	-0.29	-4.85	-0.57	-2.57	-0.26	-11.56	-1.52	-3.66	-0.39	-0.51	-0.05
10	-0.72	-0.08	1.23	0.10	-2.55	-0.31	-1.50	-0.18	-0.86	-0.06	-0.59	-0.07	-0.85	-0.10	0.72	0.08
11	-2.32	-0.28	3.43	0.31	5.04	0.47	-8.19	-0.87	-6.97	-0.72	8.46	0.64	3.31	0.21	-7.65	-0.34
12	1.42	0.12	-4.44	-0.28	-4.06	-0.72	-1.96	-0.23	-1.66	-0.15	0.52	0.04	-2.79	-0.32	2.57	0.14
13	9.81	0.45	0.20	0.01	-5.73	-0.37	-7.08	-0.47	-0.83	-0.03	7.07	0.27	-2.87	-0.17	9.57	0.48
14	6.10	0.94	11.84	1.96	-0.39	-0.08			10.31	1.01	2.25	0.41	8.69	1.50	10.49	1.96
15	-14.33	-2.27	-12.09	-1.65	-9.58	-2.46	-11.48	-2.60	-13.69	-1.59	-22.30	-5.54	-10.29	-2.59	-14.21	-3.31
16	-7.67	-0.76	-6.66	-0.83	-4.05	-1.29	-4.15	-0.96	-9.66	-0.61	-2.84	-0.32	-3.52	-0.73	-3.43	-0.40
18			8.27	0.13	-13.90	-0.27	-8.84	-0.18					10.31	0.11	1.80	0.02
19	1.54	0.12	1.89	0.12	18.31	1.73	18.20	2.21	7.34	0.31	-0.64	-0.05	4.03	0.35	1.51	0.11
24	9.64	0.52	-17.60	-3.77	25.08	3.56	19.99	1.18	-31.32	-1.61	7.81	0.64	20.14	1.49	-5.66	-1.07

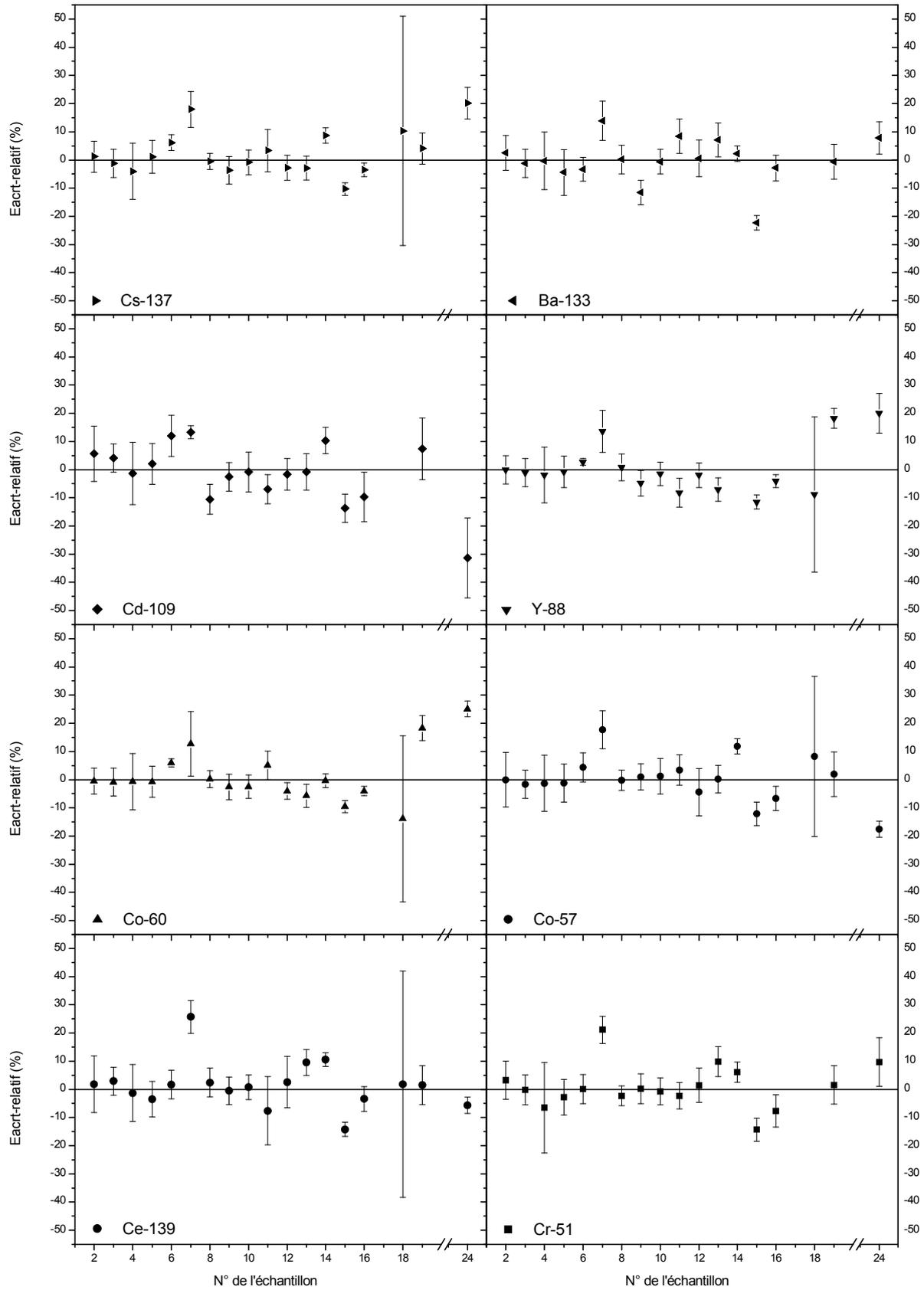


Figure 1 : Ecart relatif par radionucléide et laboratoire. L'incertitude rapportée est à ($k=2$).

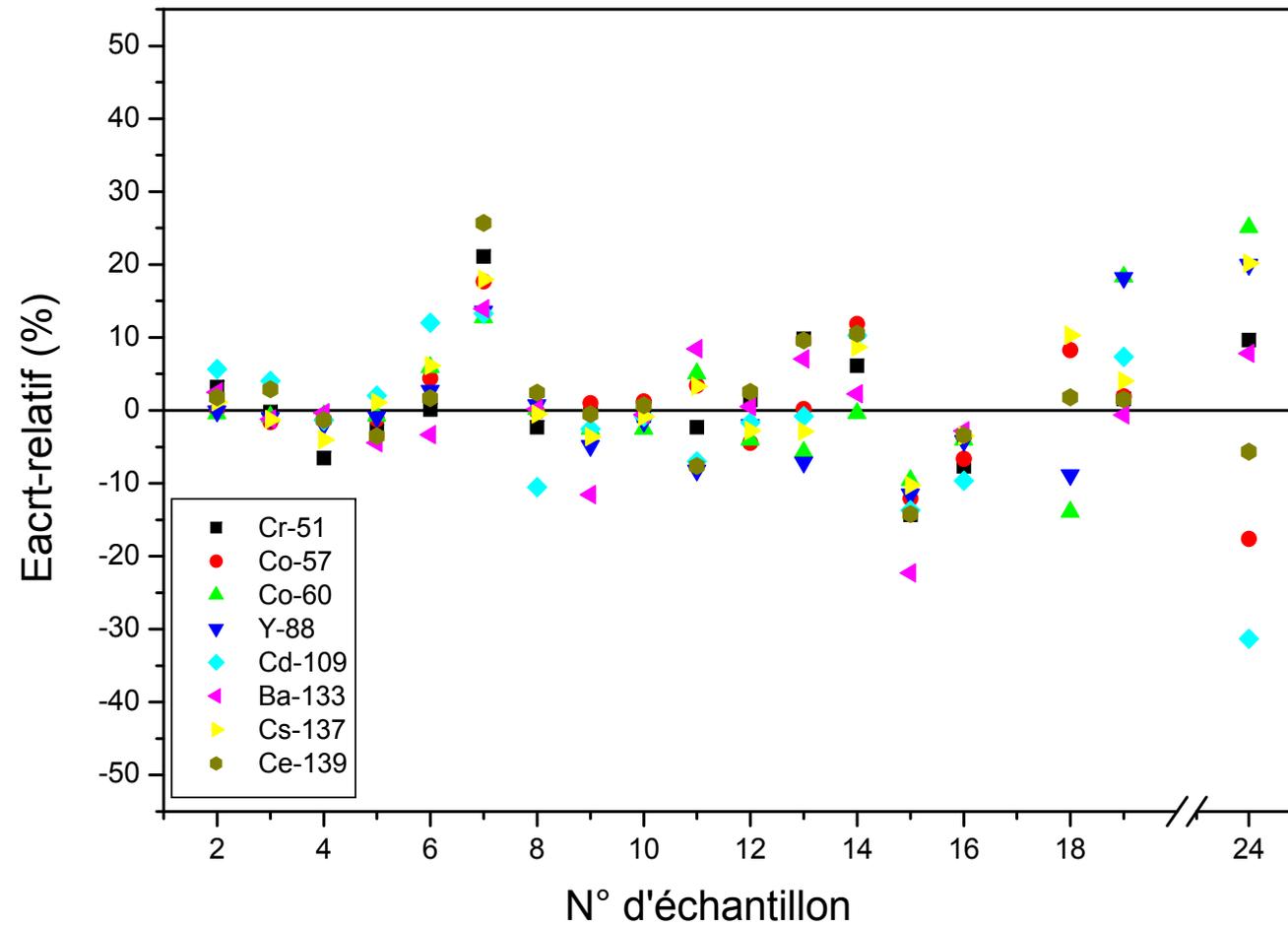


Figure 2 : Ecart relatif pour tous les radionucléides de chaque laboratoire.

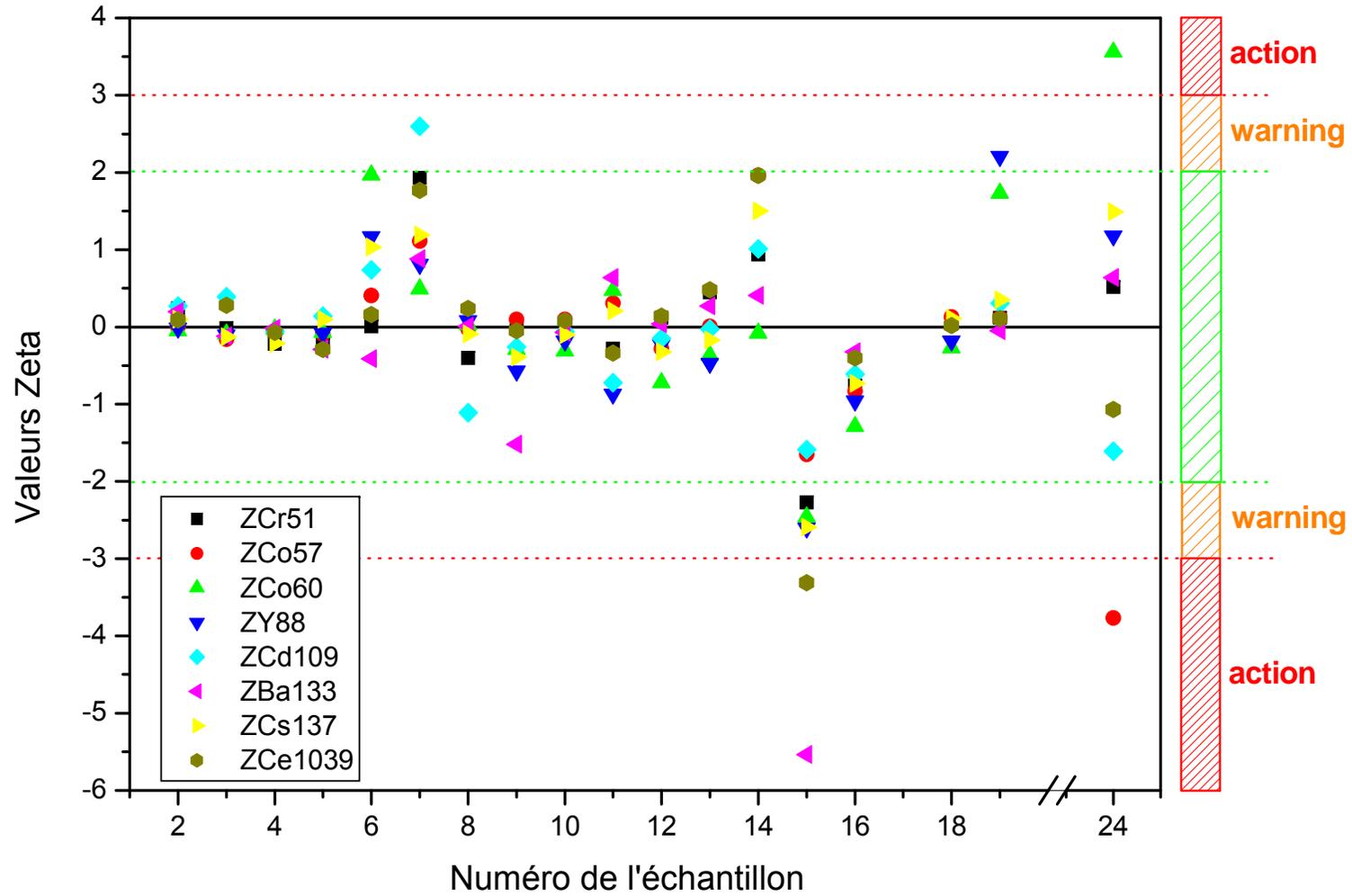


Figure 3 : Valeurs Zeta pour tous les radionucléides de chaque laboratoire. Les limites d'avertissement (warning) et d'action corrective nécessaire (action) sont également représentées.

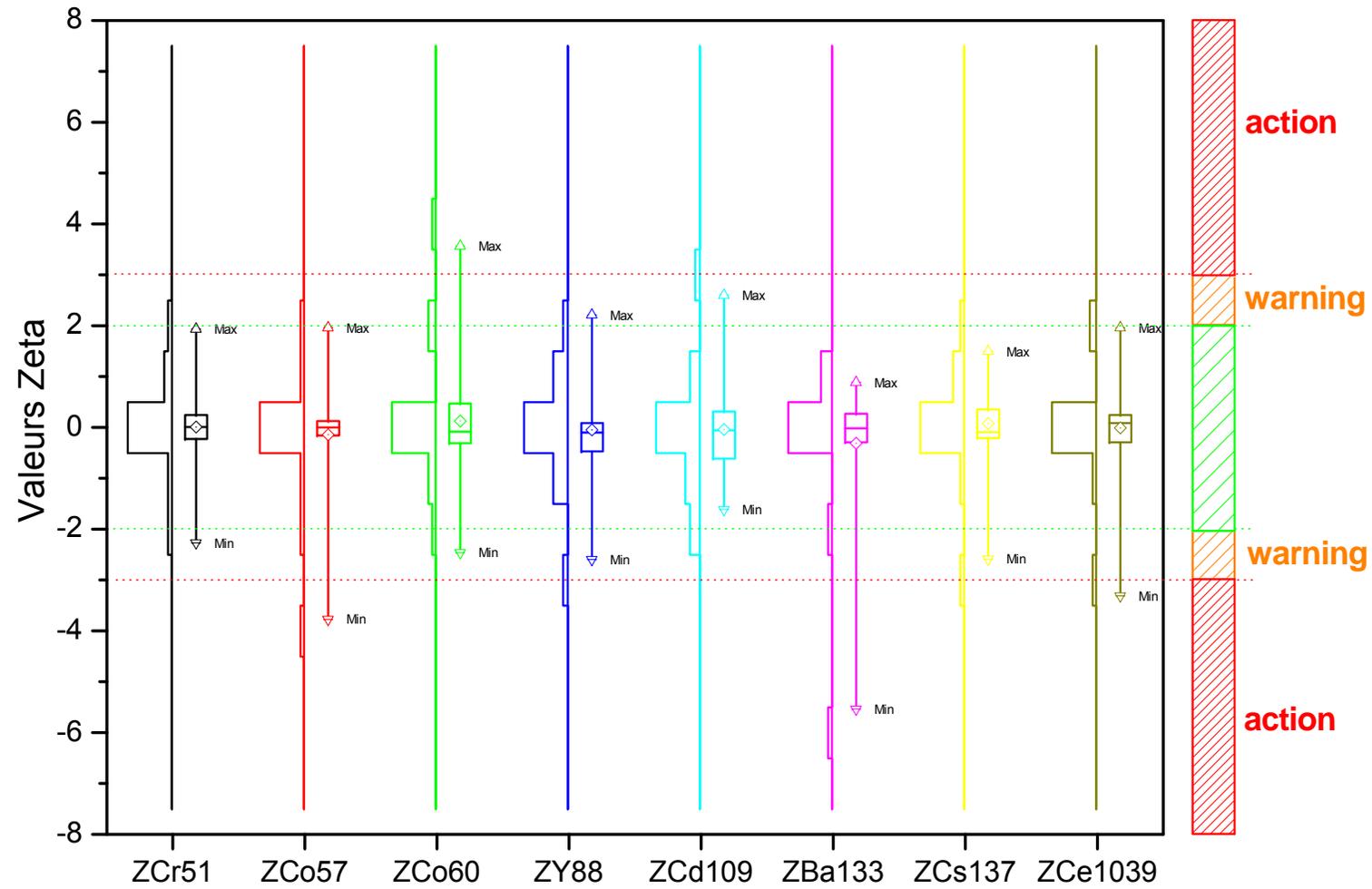


Figure 4 : Valeurs Zeta par radionucléide de chaque laboratoire. Les limites d'avertissement (warning) et d'action corrective nécessaire (action) sont également représentées.

2.1 Conclusions

Cette année, l'objectif de l'intercomparaison était de donner aux laboratoires suisses la possibilité d'étalonner en efficacité leurs détecteurs en utilisant une solution de référence réalisée par le laboratoire primaire de l'IRA. Comme pour les intercomparaisons habituelles, les laboratoires ont reçu l'échantillon sans connaître les valeurs de référence des concentrations radioactives et l'ont analysé avec l'étalonnage en vigueur à ce moment-là.

Dans presque tous les cas, ils ont identifié tous les radionucléides de l'échantillon. Les résultats sont bons et la majorité des valeurs fournies par les laboratoires sont compatibles avec les valeurs de référence. Seuls 3 ou 4 laboratoires ont reporté des valeurs de concentrations radioactives induisant un avertissement, dont deux nécessitant des actions immédiates.

Avec les valeurs de référence remises aux participants dans ce rapport, ces derniers ont maintenant la possibilité de rectifier la courbe d'étalonnage en efficacité de leur détecteur. Notons que pour plusieurs radionucléides de la solution de référence, il est nécessaire de tenir compte des effets de sommations liés aux émissions de rayons gamma en coïncidence. Des valeurs typiques des facteurs de correction sont données dans l'annexe de ce rapport.

2.2 Remerciements

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

3 ANNEXE

On donne ci-dessous les facteurs de correction de sommations déterminés par simulation Monte Carlo pour 2 détecteurs HPGe de l'IRA.

Les facteurs de correction f_{corr} sont définis de la façon suivante :

$$A_{\text{corrigée}} = A_{\text{non corrigée}} \times f_{\text{corr}}$$

où $A_{\text{corrigée}}$ est l'activité corrigée pour les effets de sommations, $A_{\text{non corrigée}}$ est l'activité rapportée par le logiciel d'analyse sans correction de ces effets et f_{corr} est le facteur de correction multiplicatif correspondant à la ligne gamma considérée.

Tableau 11 : Description des géométries de mesure

No	Distance	Récipient	Dimensions*
1	0 cm	Zinsser Analytics, 20 ml en PE	25 mm x 44 mm
2	5 cm	Zinsser Analytics, 20 ml en PE	25 mm x 44 mm
3	0 cm	Semadeni 40 ml type 1712	64 mm x 12 mm
4	0 cm	Semadeni 250 ml type 1741	94 mm x 41 mm
5	0 cm	Semadeni 500 ml type 1742	94 mm x 75 mm

*Diamètre interne x hauteur de remplissage

3.1 HPGe de type n de 23% d'efficacité relative

Le détecteur est un HPGe ORTEC GMX-23190 de type n, 23% d'efficacité relative, dimensions du cristal : 52 mm de diamètre x 53 mm de hauteur. La fenêtre de béryllium est couverte par un capuchon de protection en polyéthylène de 3.3 mm d'épaisseur. La distance du cristal à la surface externe du capuchon est de 9.4 mm.

Tableau 12 : Facteurs de correction de sommations et incertitudes-types statistiques relatives de la simulation Monte Carlo (à k=1) pour le HPGe type n 23% et les géométries du Tableau 11

Radionucléide	Energie (keV)	Géométrie				
		1	2	3	4	5
Ba-133	81.0	1.196	1.045	1.216	1.128	1.105
		0.2%	0.4%	0.2%	0.2%	0.3%
Co-57	122.1	1.001	0.996	1.003	1.005	1.000
		0.1%	0.3%	0.1%	0.2%	0.2%
	136.5	0.975	0.983	0.979	0.993	0.993
		0.3%	0.7%	0.3%	0.4%	0.5%
Ce-139	165.9	1.073	1.018	1.082	1.044	1.037
		0.2%	0.3%	0.1%	0.2%	0.2%
Ba-133	276.4	1.288	1.064	1.326	1.165	1.129
		0.6%	1.0%	0.5%	0.7%	0.9%
		1.237	1.047	1.267	1.133	1.105
		0.4%	0.7%	0.3%	0.5%	0.6%
	356.0	1.175	1.039	1.195	1.099	1.086
		0.2%	0.4%	0.2%	0.3%	0.4%
	383.9	1.034	1.004	1.040	1.026	1.020
		0.6%	1.1%	0.5%	0.7%	0.8%
Y-88	898.1	1.077	1.018	1.087	1.038	1.034
		0.3%	0.6%	0.3%	0.4%	0.4%
Co-60	1173.2	1.063	1.012	1.068	1.037	1.041
		0.3%	0.6%	0.3%	0.4%	0.5%
	1332.5	1.065	1.019	1.069	1.042	1.033
		0.4%	0.7%	0.3%	0.4%	0.5%
Y-88	1836.1	1.080	1.017	1.089	1.048	1.029
		0.4%	0.8%	0.4%	0.5%	0.6%

3.2 HPGe à puits de 45% d'efficacité relative

Le détecteur est un HPGe CANBERRA GCW 4523, 45% d'efficacité relative, dimensions du cristal : 64 mm de diamètre x 69 mm de hauteur. Capot en aluminium de 1.5 mm d'épaisseur. La distance du cristal à la surface externe du capot est de 10 mm. Le puits est de 16 mm de diamètre et 40 mm de profondeur (dimensions externes).

Tableau 13 : Facteurs de correction de sommations et incertitudes-types statistiques relatives de la simulation Monte Carlo (à k=1) pour le HPGe à puits 45% et les géométries du Tableau 11

Radionucléide	Energie (keV)	Géométrie				
		1	3	4	5	
Ba-133	81.0	1.229	1.266	1.146	1.129	
		0.2%	0.2%	0.3%	0.3%	
Co-57	122.1	1.001	1.000	1.000	1.000	
		0.1%	0.1%	0.2%	0.2%	
	136.5	0.994	0.999	1.006	1.001	
		0.3%	0.3%	0.4%	0.5%	
Ce-139	165.9	1.073	1.080	1.041	1.037	
		0.1%	0.1%	0.2%	0.2%	
Ba-133	276.4	1.304	1.372	1.164	1.144	
		0.6%	0.5%	0.7%	0.9%	
		302.9	1.231	1.272	1.123	1.114
		0.4%	0.3%	0.5%	0.6%	
	356.0	1.173	1.196	1.092	1.077	
		0.2%	0.2%	0.3%	0.3%	
	383.9	1.007	1.008	1.006	0.998	
		0.6%	0.5%	0.7%	0.8%	
Y-88	898.0	1.084	1.098	1.064	1.052	
		0.3%	0.2%	0.3%	0.4%	
Co-60	1173.2	1.090	1.107	1.067	1.059	
		0.3%	0.2%	0.3%	0.4%	
	1332.5	1.091	1.116	1.074	1.059	
		0.3%	0.3%	0.4%	0.4%	
Y-88	1836.1	1.097	1.111	1.073	1.056	
		0.4%	0.3%	0.4%	0.5%	